

HIRSITALON RAKENNUSOSIEN ELINKAARIKUSTANNUKSET

Härkönen Joonas

Opinnäytetyö
Tekniikan ala
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka
Insinööri (AMK)

2020

Tekniikka ja liikenne
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka
Insinööri (AMK)

Tekijä	Joonas Härkönen	Vuosi	2020
Ohjaajat	Mikko Vatanen		
Toimeksiantaja	Miika Poikajärvi Lapin ammattikorkeakoulu Oy / EkoPlan-hanke		
Työn nimi	Hirsitalon rakennusosien elinkaarikustannukset		
Sivu- ja liitesivumäärä	58		

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää hirsitalon rakennusosien elinkaarikustannuksia rakennusmääräyksien energiatehokkuuden raja-arvoilla sekä oma valin-
taisilla paremmilla energiatehokkuuden arvoilla. Tuloksia verrataan toisiinsa ja
tarkoituksena on nähdä, kuinka suuri vaikutus on taloudellisesti elinkaaren aikana
yhden yksittäisen rakennusosan energiatehokkuuden parantamisella. Raken-
nusosiksi valikoituivat ne rakennusosat, joita käytetään rakennuksen tasauslas-
kennassa osoittamaan rakennuksen energiatehokkuuden vaatimuksien täyttymi-
nen. Samalla selvisi jokaisen rakennusosan vuotuinen energiankulutus sekä ero
rakennusmääräyksiä vastaavan ja energiatehokkaamman ratkaisun välillä.

Teoriaperustassa käytiin läpi vuodelle 2018 uusittuja energiatehokkuuden raken-
nusmääräyksiä massiivipuurakentamisen näkökulmasta. Samalla tutustuttiin
elinkaarikustannuslaskentaan ja kestävään rakentamiseen.

Tämän työn sisältämien laskelmien tekemiseen käytettiin useita eri laskenta-
sovelluksia. Lopulliseksi tuloksiksi saatiin jokaisen rakennusosan vuotuinen ener-
giankulutus sekä elinkaarikustannukset investoinnin ja käyttöjakson ajalta. Tulok-
set ovat koottuna taulukoihin ja pylväskaavioihin vertailun helpottamiseksi. Vii-
meisessä luvussa pohditaan saatujen tuloksien merkitystä.

Avainsanat

elinkaarikustannukset, energiankulutus, energiatehok-
kuus, hirsitalo, rakennusosa

Degree Programme in Civil
Engineering
Bachelor of Engineering

Author	Joonas Härkönen	Year	2020
Supervisors	Mikko Vatanen		
Commissioned by	Miika Poikajärvi Lapland University of Applied Sciences Oy / EkoPlan project		
Subject of thesis	Life Cycle Costs of the Building Components of a Log House		
Number of pages	58		

The objective of the thesis was to find out the life cycle costs of the building components of a log house. Two different structure solutions from each building component with different energy efficiency values were selected. Each component's energy consumption and total cost of the life cycle were defined. The impact of improving single component's energy efficiency was also found.

The definition of LCC (life cycle costs) and the calculation method were studied in the theory section. The building regulations of a massive timber construction were discussed. In addition, the calculation methods to meet the energy efficiency requirements were studied.

The final results of this thesis were the energy consumption and the life cycle cost of each building component's and the comparison between different solutions made with charts and histograms to make it more effortless.

Key words life cycle costs, energy consumption, energy efficiency, log house, building component

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	5
2 ELINKAARIKUSTANNUKSET	7
2.1 Kestävä rakentaminen	7
2.2 Elinkaarikustannusten periaatteet	9
2.3 Laskentamenetelmä	11
3 ENERGIATEHOKKUUS	15
3.1 Määräykset	15
3.2 Tasauslaskenta	17
3.3 Lämmönläpäisykerroin	22
3.4 Vaipan osien lämmitysenergian tarve	24
3.5 Vuotoilman lämpenemisen lämpöenergian tarve	25
3.6 Ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarve	27
4 MENETELMÄT	29
4.1 Esimerkkitapaus	29
4.2 Energiatehokkuus	31
4.3 Elinkaarikustannukset	32
5 LÄMMITYSENERGIAN TARVE JA ELINKAARIKUSTANNUKSET	36
5.1 Massiivipuuseinä	36
5.2 Yläpohja	37
5.3 Maanvastainen alapohja	39
5.4 Ikkunat	41
5.5 Ulko-ovet	43
5.6 Ilmanvuotoluku	44
5.7 Ilmanvaihdon poistoilman lämmöntalteenotto	46
6 YHTEENVETO	49
7 POHDINTA	53
LÄHTEET	56

1 JOHDANTO

Rakentaminen on yksi suurin yksittäinen kasvihuonekaasupäästöjen aiheuttaja myös Suomessa. Ilmastonmuutoksen hillintään on ympäristöministeriön johdolla aloitettu kiinnittämään entistä enemmän huomiota. Työkaluiksi on luotu mm. vähähiilinen rakentaminen, lähes nollaenergiarakentaminen ja elinkaariajattelumalli. Näiden työkalujen tavoitteena on saada rakentamisen päästöjä pienemmiksi luomalla todellisia tunnuslukuja eri tekijöille rakentamisessa, jotta niitä voitaisiin vertailla toisiinsa ja löytää ilmastoystävällisempiä ratkaisuja.

Lapin ammattikorkeakoulu toimii päätoteuttajana EkoPlan-hankkeessa. Hankkeessa ovat osallisena myös useat yritykset ja muut organisaatiot. Tarkoituksena on tuottaa lappilaisille yrityksille syventävää osaamista ympäristöasioissa, luoda kilpailukykyä ja mahdollisuuksia kansainvälistymiseen. Aihealueita ovat hiilijalanjälki, ekosuunnittelu ja ympäristövaatimukset, kiertotalous ja energia- ja materiaalitehokas toimiminen. Tämä opinnäytetyö tehdään EkoPlan-hankkeen lukuun käsitellen energia- ja materiaalitehokasta rakentamista aihealueena.

Rakennusmateriaalivalinnoilla on merkitystä rakennuksen ekologisuuteen. Massiivipuun käyttäminen rakennusmateriaalina onkin yksi keino pienentää rakennuksen hiilijalanjälkeä. Puun ominaisuus sitoa hiiltä ja sen työstämiseen tarvittava energia on pieni verrattuna lukuisiin muihin rakennusmateriaaleihin. Kiinnostus puurakentamiseen on kasvanut niin ammattilaisilla kuin kuluttajillakin ja tästä todisteena on massiivipuutuotannon kehityksen harppaukset uusiksi innovatiivisiksi tuotteiksi kuten painumaton hirsi ja CLT (Cross Laminated Timber). Nämä edellä mainitut seikat yhdessä positiiviseen mielikuvaan puusta rakennusmateriaalina saivat minut valitsemaan tämän työn keskeiseksi aiheeksi massiivipuun.

Elinkaariajattelumalli on tulossa myös rakentamisen alalle kasvavissa määrin, joten oli luonteva valinta valita myös yksi elinkaariarvioinnin työkaluista mukaan opinnäytetyöhön massiivipuun lisäksi. Työkaluista valikoitui mukaan elinkaarikustannukset, jolla pystytään mittaamaan rakennuksen kokonaiskustannuksia koko elinkaaren ajalta.

Lopulliseksi tavoitteeksi tälle työlle syntyi määritellä massiivipuurunkoisen pientalon eri rakennusosien elinkaarikustannukset investoinnin ja käyttöjakson ajalta. Rakennusosiksi valikoituivat rakennuksen vaipan osat (massiivipuuseinä, yläpohja, alapohja, ikkunat ja ulko-ovet), ilmanvuotoluku ja ilmanvaihdon poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde. Tarkastelun avuksi luodaan esimerkkitapaukseksi yksinkertaistettu hirsitalo, jolloin pystytään määrittämään lähtöarvot laskelmille. Elinkaarikustannustarkastelu tehdään kahdelle eri ratkaisulle. Ensimmäinen ratkaisu kuvaa energiatehokkuuden rakennusmääräyksien vastaavia arvoja, jotka ovat määrittänyt ympäristöministeriö. Toinen ratkaisu kuvaa energiatehokkuudeltaan parempia oma valintaisia lähtöarvoja. Näistä saatuja tuloksia verrataan toisiinsa ja tarkoituksena on nähdä, että minkä suuruinen vaikutus on taloudellisesti yksittäisen rakennusosan energiatehokkuuden parantamisella.

Tulosten saamiseksi, tämän työn teoriaperustassa tutustutaan ensin kestäväään rakentamiseen, elinkaariajattelumalliin, elinkaarikustannuksiin ja vuodelle 2018 uusittuihin ympäristöministeriön julkaisemiin energiatehokkuuden asetuksiin ja oppaisiin. Seuraavissa luvuissa luodaan työlle esimerkkitapaus lähtöarvoineen, esitellään laskelmien tulokset energiankulutuksesta sekä elinkaarikustannuksista ja lopuksi vertaillaan sekä pohditaan saatuja tuloksia.

2 ELINKAARIKUSTANNUKSET

2.1 Kestävä rakentaminen

Kestävällä rakentamisella pyritään hillitsemään ilmastonmuutosta löytämällä ekologisesti, taloudellisesti, kulttuurisesti ja sosiaalisesti kestävällä pohjalla olevia ratkaisuja rakentamisessa (Kuvio 1). Tarkoituksena on rakentaa mahdollisimman energia- ja materiaalitehokkaasti tuottaen pitkäikäisiä, vähän huoltoa ja korjausta vaativia rakennuksia. Rakennuksen ominaisuuksia ovat mm. energiatehokkuus, terveellisyys, viihtyisyys, muuntojoustavuus ja arvon säilyminen. (SYKLI 2014, 6.)



Kuvio 1. Kestävän rakentamisen vaikutukset (SYKLI 2014, 7)

Suomessa kulutettavasta energiasta noin 40 prosenttia käytetään rakennuksissa ja ne aiheuttavat noin 30 prosenttia kasvihuonekaasupäästöistä (Motiva 2020). Rakennuksen elinkaaren aikaisista päästöistä syntyy noin 20 prosenttia rakennusmateriaaleista ja rakentamisesta. Suurin osa päästöistä muodostuu rakennuksen käyttövaiheen aikana energiankulutuksena. (Rakennusteollisuus RT 2020.) Vaikka käytönaikainen energiankulutus onkin merkittävä tekijä ympäristövaikutusten syntymisessä, niin ei ole olemassa menetelmää, joka ratkaisisi eri tekijöiden keskinäisen merkityksen. Siksi rakennusten ympäristövaikutusten tekijät aiheuttavat voimakkaita tulkintoja ja erimielisyyksiä. (Puuinfo 2014, 7.)

Rakentamisen ympäristövaikutuksiin pystytään vaikuttamaan rakennusmateriaalivalinnoilla. Uudisrakentamisessa energiatehokasta rakentamista ohjataan rakentamismääräyksillä, joten samat energiatehokkuusvaatimukset täyttävät rakennukset eivät juurikaan eroa käytönaikaisessa energiankulutuksessa. Ratkaisevaksi erottavaksi tekijäksi syntyvät valittujen rakennusmateriaalien aiheuttamat ympäristövaikutukset. (Puuinfo 2014, 7.)

Vähentämällä uusiutumattomien rakennusmateriaalien käyttöä kuten tiilen ja betonin ja lisäämällä uusiutuvaa rakennusmateriaalia kuten puuta, voitaisiin rakentamisen ja rakennusmateriaalien valmistuksen aikaista energiankulutusta pienentää jopa 40 prosenttia ja päästöjä 60 prosenttia (Mikkola 2020).

Puurakentaminen onkin yksi merkittävä tekijä kestävässä rakentamisessa ja täyttää kaikki tunnusmerkit. Puu uusiutuvana rakennusmateriaalina edesauttaa ilmastomuutoksen hillinnässä sitomalla hiilidioksidia itseensä kasvaessaan. Lisäksi puutuotteiden valmistukseen käytettävä energiankulutus ja ympäristöhaitat ovat merkittävästi pienemmät kuin vastaavat ovat esimerkiksi betonissa ja teräksessä. Taloudellisesta näkökulmasta puu pärjää yleisesti ottaen hyvin verrattuna muihin rakennusmateriaaleihin ja siitä voidaan tehdä kestäviä ja pitkäikäisiä rakennuksia. (Puuinfo 2020.)

2.2 Elinkaarikustannusten periaatteet

Elinkaariarviointi eli LCA-menetelmällä (Life Cycle Assessment) pystytään arvioimaan ja analysoimaan rakennuksen elinkaaren aikaisia erillisiä ympäristövaikutuksia. Menetelmä on standardisoitu SFS-EN ISO 14040 -standardi sarjaan. (Ymparisto.fi 2013.) LCA-menetelmään pohjautuen on Green Building Council Finland luonut Rakennusten elinkaarimittarit, joiden avulla pystytään mittaamaan rakennuksien ympäristötehokkuutta ja kestäväää kehitystä todellisten tunnuslukujen avulla. Elinkaarimittarit ovat suunnittelu- ja käyttövaiheen työkaluja. Elinkaarimittareita on yhteensä kahdeksan kiinteistö- ja rakennusosalalle:

1. e-luku – rakennuksen ominaisuuksista johdettu laskennallinen kulutus
2. elinkaaren hiilijalanjälki
3. elinkaarikustannus
4. sisäilmaluokka
5. energiankulutus – mitattu ja todellinen käyttövaiheen kulutus
6. käytön hiilijalanjälki
7. pohjateho (tyhjäkäyttöteho)
8. sisäympäristöön tyytyväisten käyttäjien osuus. (Green Building Council Finland 2020.)

Elinkaarikustannuslaskenta on yksi elinkaarimittareista, jolla pystytään mittaamaan rakennuksen kokonaiskustannuksia koko elinkaaren aikana. Elinkaarikustannuslaskenta eli LCC (Life Cycle Cost) perustuu standardin SFS-EN 15643-4:2012 peruseriaatteisiin. Tavoitteena elinkaarikustannuslaskennassa on tuoda ilmi kiinteistön omistajalle, kuinka paljon rakennus tulee kustantamaan sen koko elinkaaren aikana huomioimalla pelkästään rakennukseen kohdistuvat kustannukset eikä mahdollisia tuloja. Elinkaarikustannuslaskenta on suunnitteluvaiheen työkalu ja sillä voidaan vertailla eri ratkaisuja kokonaistaloudellisesti. (Green Building Council Finland 2013, 41-43.)

Rakennuksen elinkaaren vaiheet on määritelty erillisiksi lohkoiksi. Vaiheet ovat sisällöllisesti; rakennuksen rakentamiseen liittyviä eri työvaiheita A0-A5, käyttöön ja huolto- ja kunnossapitoon B1-B5, energian käyttöön B6, veden käyttöön B7, rakennuksen elinkaaren päättymisen purkuvaiheeseen C1-C4 ja muihin elinkaaren ulkopuolisiin lisätietoihin kuten esimerkiksi rakennusmateriaalien tai -osien uudelleen- tai hyötykäyttöön D (Kuvio 2). (Green Building Council Finland 2013, 42.)

VAIHE	VAIHEEN KESKEINEN SISÄLTÖ
A0 ENNEN RAKENTAMISTA	Tontin hankinta veroineen, hankevaiheen suunnitelmat ja kustannukset. Jos tontti vuokrataan, vuokratkustannukset kohdistetaan tälle vaiheelle. Jos rakennus hankitaan käyttöön olemassa olevana, kohdistetaan hankintahinta ja -kulut tähän vaiheeseen.
A1-A5 ENNEN KÄYTTÖVAIHESTA	Vaiheet A1-A5 voidaan käsitellä yhtenä kokonaisuutena, joka voi perustua urakkatarjouksiin tai muuhun kustannusarvioon. Myös muut hankkeen projektinjohto-, tarkastus- ja valvontakulut kuuluvat tähän vaiheeseen. Kunnallistekniikan liittymiskustannukset kuuluvat tähän vaiheeseen.
B1 KÄYTTÖ	Kiinteistövero, isännöinti, vakuutukset ja turvallisuuspalvelut. Taloushallintoon (esim. asunto-osakeyhtiön kirjanpito ja tilintarkastus) liittyviä kustannuksia ei huomioida.
B2 KUNNOSSAPITO	Huolto- ja ylläpitopalvelut, mm. siivous, pintojen ja teknisten järjestelmien huolto. Tarkastukset ja muut toistuvat toimenpiteet (esim. nuohous).
B3 KORJAUS	Ennakoimattomista rikkoutumisista johtuvat korjauskustannukset.
B4 OSIEN VAIHTO	Suunnitelluista rakennuksen osien vaihdoista johtuvat korjauskustannukset ja tähän liittyvien suunnittelu- ja valvontatehtävien kustannukset.
B5 LAAJAMITTAISET KORJAUKSET	Rakennuksen käyttötarkoituksen muuntamisesta johtuvat kustannukset.
B6 ENERGIAN KÄYTTÖ	Rakennukseen ostettava energia- ja polttoaineet siirtomaksuineen. Kulutuksesta tulee poistaa kuluttajalaitteiden osuus (tai mainittava jos se on huomioitu), mutta tontilla kulutettava energia huomioidaan. Periaate on sama kuin hiilijalanjäljen osalta (kts. 6.3).
B7 VEDEN KÄYTTÖ	Puhtaan veden ostosta ja jäteveden käsittelystä syntyvät kustannukset. Kulutuksesta tulee poistaa kuluttajalaitteiden osuus kulutuksesta (tai mainittava jos se on huomioitu).
C1-C4 PURKUVAIHE	Rakennuksen purkaminen ja purkujätteen käsittely ja kuljetus. Maaperän tai tontin ennallistaminen hanketta edeltävälle tasolle ja valmiiksi seuraavaa käyttäjää varten. Kohta voidaan käsitellä urakkasummana purku-, siivous- ja ennallistamistöistä, josta poistetaan materiaalien hyötykäytön hyvitykset. Jos näitä ei tunneta, niitä ei huomioida.
D ELINKAAREN ULKOPUOLISET LISÄTIEDOT	Lisätiedot kattavat rakennuksen elinkaaren ulkopuoliset vaiheet, jotka koostuvat energian myynnistä ja rakennuksen materiaalien tai osien uudelleen- tai hyötykäytöstä. Uudelleen- ja hyötykäyttö huomioidaan ensisijaisesti syntyneitä kustannuksia vähentävänä alennuksena, ja kustannukset ylittävät tulot raportoidaan lisätiedoissa. Lisäksi lisätietomodulissa todetaan rakennushankkeen saamat mahdolliset subventiot.

Kuvio 2. Rakennuksen elinkaaren vaiheiden sisällöt ja rajaukset (Green Building Council Finland 2013, 42)

2.3 Laskentamenetelmä

Laskennassa otetaan huomioon kustannukset rakennuksen elinkaaren eri vaiheista. Kustannuksien hintatasona käytetään nykyhintoja riippumatta siitä, mihin elinkaaren vaiheeseen kustannukset ajoittuvat. Kustannustietoihin on käytössä ensisijaisuusjärjestys, jota on noudatettava.

1. saatuihin tarjouksiin perustuvat kohdekohtaiset hinnat
2. kustannuslaskentaan perustuvat kohdekohtaiset hinnat
3. kokemusperäiset tai muuten yleisessä tiedossa olevat suoriteperusteiset keskiarvoarvohinnat vastaavalle rakennustyyppille
4. kokemusperäiset tai muuten yleisesti käytetyt lisäkustannuskertoimet vastaavalle rakennustyyppille. (Green Building Council Finland 2013, 43.)

Ensisijaisuusjärjestykseen liittyen elinkaarikustannuslaskenta voidaan toteuttaa myös yksinkertaistamalla. Yksinkertaistamisessa käytetään kustannuksien lähtöarvojen määrittämiseen vaiheen keskihintoja tai vaihe voidaan jättää kokonaan huomioimatta, jos vaiheeseen sisältyviä lähtötietoja ei ole saatavilla tai niitä ei pystytä arvioimaan. Jos yksinkertaistamista käytetään elinkaarikustannuslaskennassa, sen tulee tulla ilmi tuloksien raportoinnin yhteydessä (Kuvio 3). (Green Building Council Finland 2013, 43.)

ELINKAAREN VAIHE	VAIHTOEHDOT	EDELLYTYKSET YKSINKERTAISTAMISELLE
A0 ENNEN RAKENTAMISTA	Laskea keskihinnoin	Jos maa-alueen tarkkaa hintaa ei ole vielä tiedossa, voidaan laskea soveltuvilla maan hankinnan keskihinnoilla.
A1-A5 ENNEN KÄYTTÖVAIHETTA	Laskea keskihinnoin	Soveltuva neliökohtainen rakentamisen hinta, joka vastaa rakennettavaa kohdetta ja aluetta, jossa rakennetaan.
B1 KÄYTTÖ	Laskea keskihinnoin	Laskea keskihinnoilla tai muiden kohteiden toteutuneilla hinnoilla.
B2 KUNNOSSA-PITO	Laskea keskihinnoin	Laskea keskihinnoilla tai muiden kohteiden toteutuneilla hinnoilla.
B3 KORJAUS	Jättää huomioimatta	Voidaan jättää huomioimatta, jos korjaustarvetta ei pystytä arvioimaan.
B5 LAAJA-MITTAISET KORJAUKSET	Jättää huomioimatta, jos käyttöikä alle 30 v	Voidaan jättää huomioimatta jos käyttöikä on alle 30 v., tai jos voidaan osoittaa että rakennus ei tarvitse käyttöikänään peruskorjausta.
B6 ENERGIAN KÄYTTÖ	Laskea ostosähköllä	Jos kohteen energiaratkaisua ei ole suunniteltu tai siitä ei ole päätetty
C1-C4 PURKU-VAIHE	Laskea keskihinnoin	Laskea keskihinnoilla tai muiden kohteiden toteutuneilla hinnoilla.
D LISÄTIEDOT	Jättää huomioimatta	Jos muita kuin ydinliiketoimintaan liittyviä tulolähteitä ei ole tiedossa.

Kuvio 3. Elinkaarikustannuslaskennan yksinkertaistaminen (Green Building Council Finland 2013, 43)

Kustannuslaskennan tekijä ottaa huomioon laskennassa eri tekijöitä, jos ne ovat tulosten kannalta merkittäviä. Tekijä voi valita käytetyn diskonttauskoron toimeksiantajan vaatimuksen, toimintaan soveltuvuuden, toimialalla yleisen käytännön tai hankkeeseen soveltuvuuden mukaan. Lisäkustannuskertoimia voidaan käyttää esimerkiksi lisä- ja muutostöille. Lisäksi investointikustannuksiin liittyviä alennuksia, palautuksia ja hyvityksiä voi ottaa huomioon, jos ne ovat laskennan tekijän tiedossa. Voimassa olevan lainsäädännön alla olevat lait ja verot otetaan huomioon ja niiden muutokset, jos ne ovat merkityksellisiä laskennan tuloksen kannalta. (Green Building Council Finland 2013, 41-42.)

Elinkaarikustannuslaskenta rakennukselle liittyy nimenomaan rakennuksen ominaisuuksiin eikä laskennassa oteta huomioon mahdollisten käyttäjien toimintaa. Arvonlisävero otetaan huomioon, riippuen kyseessä olevan toimijan mahdollisuudesta vähennykseen vaiko ei. Arvonlisäveron huomioiminen tai sen huomiotta jättäminen laskennassa täytyy tehdä systemaattisesti ja yhdenmukaisesti kaikissa kustannusluokissa ja sen tulee tulla ilmi raportin tuloksissa. Laskennassa

ei myöskään huomioida siihen liittyvien hintatietojen mahdollisia hintojen korotuksia elinkaaren aikana eikä yleistä inflaatiota. Poikkeuksena hintojen korotuksien huomioimiseen on energian hinta. Energian hinnan nousu vuositason otetaan huomioon lisäämällä energian hintaan kerroin (Kuvio 4). (Green Building Council Finland 2013, 41-58.)

MUUTTUJA	ARVO	LÄHDE
DISKONTTAUSKORKO	3,00 %	Direktiivi 2010/31/EU rakennusten energiatehokkuudesta laskentaohjeistuksen mukainen peruskorko
SÄHKÖENERGIAN VÄHIMMÄISHINTA	5,2 snt / kWh	Energiamarkkinavirasto, sähköenergian hinta, veroton, tyypikäyttäjä L1, keskiarvo jaksolta 1.11.2007 - 1.11.2012
KEVYEN POLTTOÖLJYN VÄHIMMÄISHINTA	65 snt / litra	Tilastokeskus, Energian hinnat, verollinen kuluttajahinta 2007-2011 vuosien keskiarvot, josta poistettu arvonnäisäveron osuus.
ENERGIAN HINNAN NOUSU VUOSITASOLLA	4,60 %	EU Energy trends to 2030: reference scenarion perusteella laskettu keskiarvo energiatuotteiden hintojen kehityksestä 2025-2030 aikajänteellä, jota korjattu inflaatiolla

Kuvio 4. Elinkaarikustannuslaskennan parametrit (Green Building Council Finland 2013, 58)

Diskonttaustekijä on merkittävä muuttuja mitattaessa elinkaaren kokonaiskustannuksia. Diskonttauskorolla muutetaan rakennuksen eri aikoina syntyvät kustannukset nykyarvoon ja tätä kutsutaan nykyarvomenetelmäksi. Suosituksena pidetään diskonttauskorkona kolmea prosenttia (Kuvio 4). Korko ottaa huomioon rahoituskustannukset ja mahdolliset riskit hankkeessa. (Green Building Council Finland 2013, 41.)

Elinkaarikustannuksien määrittämisessä käytetyn diskonttaustekijän laskentatapa:

$$K_N = \sum [K_i * 1/(1 + r)^i] \quad (1)$$

missä

K_N	on	kustannuksen nykyarvo
K_i	on	kustannus vuonna i
r	on	valittu korkokanta
i	on	vuosi, jona kustannus toteutuu. (Saari 2001, 2.)

Energiakustannukset lasketaan myös nykyarvomenetelmällä ottamalla huomioon diskonttaus korko ja energian hinnan nousulle määritelty korko:

$$K_E = Q * q * \frac{1}{(i-p)} * \frac{[1+(i-p)]^n - 1}{[1+(i-p)]^n} \quad (2)$$

missä

K_E	on	energiakustannuksen nykyarvo
Q	on	energiankulutus, kWh
q	on	nykyinen energian hinta, €/kWh
p	on	vuotuinen energian hinnan nousu, %
i	on	diskonttauskorkokanta, %
n	on	käyttöjakson pituus, vuotta. (Green Building Council Finland 2017)

Elinkaarikustannuslaskenta suoritettiin tässä työssä itse tehdyllä excel pohjaisella taulukkolaskennalla, joka pohjautuu Rakennusten elinkaarimittarit -ohjeisiin.

3 ENERGIA TEHOKKUUS

3.1 Määräykset

Euroopan parlamentin ja neuvoston uudelleen laatima direktiivi (2010/31/EU) energiatehokkuudesta sitoo myös Suomea rakennusten energiatehokkuudessa. Direktiivissä edellytetään siirryttäväksi ns. nollaenergiarakentamiseen uusissa rakennuksissa. Lähes nollaenergiarakennus on rakennus, jolla on erittäin korkea energiatehokkuus. Suomen olosuhteissa tämä tarkoittaa mm. sitä, että on tarve pienentää kylmistä ulkolämpötiloista johtuvaa energiantarvetta. Rakennuksien lämpöenergian tarve pystytään osoittamaan lämpöhäviöiden tasauslaskennalla. (Saari & Nyman 2017, 6.)

Ympäristöministeriö uudisti rakentamismääräyskokoelman vuodeksi 2018 ja uudet asetukset tulivat voimaan 1.1.2018. Uudisrakennusten energiantehokkuuteen liittyen korvattiin vanhasta kokoelmasta osa D3 asetuksilla ja osa D5 poistettiin. Korvaavat asetukset ovat Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta 1010/2017 ja Valtioneuvoston asetus rakennuksissa käytettävien energiamuotojen kertoimien lukuarvoista 788/2017. Lisäksi rakentamista ohjaa Maankäyttö- ja rakennuslaki. Uudet säädökset eivät sisällä enää ohjeita vaan asetuksia ja oppaita. (RT-11-11294 2018,1.)

Uusissa asetuksissa ja oppaissa ei puhuta enää hirrestä ja hirsirakentamisesta vaan siirryttiin termeihin massiivipuu ja massiivipuurakentaminen. Massiivipuurakennus tarkoittaa rakennusta, jonka ulkoseinien pääasiallinen rakennusmateriaali on massiivipuu. Massiivipuu termi sisältää hirren lisäksi myös muut massiiviset puurungot kuten esimerkiksi CLT:n (Cross Laminated Timber). Massiivipuuseinän keskimääräinen vähimmäispaksuus on oltava 180mm ja loma-asunnoissa sen paksuus on oltava vähintään 130mm. Rakennusosien lämmönläpäisykertoimien enimmäisarvot poistettiin niin myös koskien massiivipuurakennusta. (RT-11-11294 2018, 3.)

Lämmönläpäisykertoimen (U-arvo) vertailuarvot massiivipuuseinille ovat:

- lämpimät tilat, jossa keskimääräinen paksuus on vähintään 180mm, 0,40 W/m²K
- puolilämpimät tilat ja siirtokelpoiset rakennukset, jossa keskimääräinen paksuus on vähintään 180mm, 0,60 W/m²K
- loma-asunnot, joita koskevat vain vaipan lämpöhäviövaatimukset ja keskimääräinen paksuus on vähintään 130mm, 0,80 W/m²K. (Saari & Nyman 2017, 14.)

Massiivipuurakenteisen seinän huomattavasti heikompi lämmönläpäisykerroin verrattuna esimerkiksi rankarakenteisen seinän 0,17 W/m²K lämmönläpäisykerroimeen perustellaan puun ominaisuudella sitoa hiiltä, joka edesauttaa ilmastonmuutoksen hillintää. Myös perinteisen hirsirakentamisen tulevaisuus halutaan turvata. (Saari & Nyman 2017, 6-14.)

Massiivipuurakennukseen on asetettu helpotuksia myös E-luvun raja-arvoihin. Käyttötarkoituluokan 1 a massiivipuurakennuksessa E-luvun raja-arvon saa ylittää 20 prosentilla, 1 b-c rakennuksessa 15 prosentilla ja 1 d-8 rakennuksella ylitys saa olla 10 prosenttia. (Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta 1010/2017 2:4.3 mom.)

Taulukko 1. Laskennallisen energiatehokkuuden vertailuluvun raja-arvot käyttötarkoituluokittain (1010/2017 2:4.2 mom.)

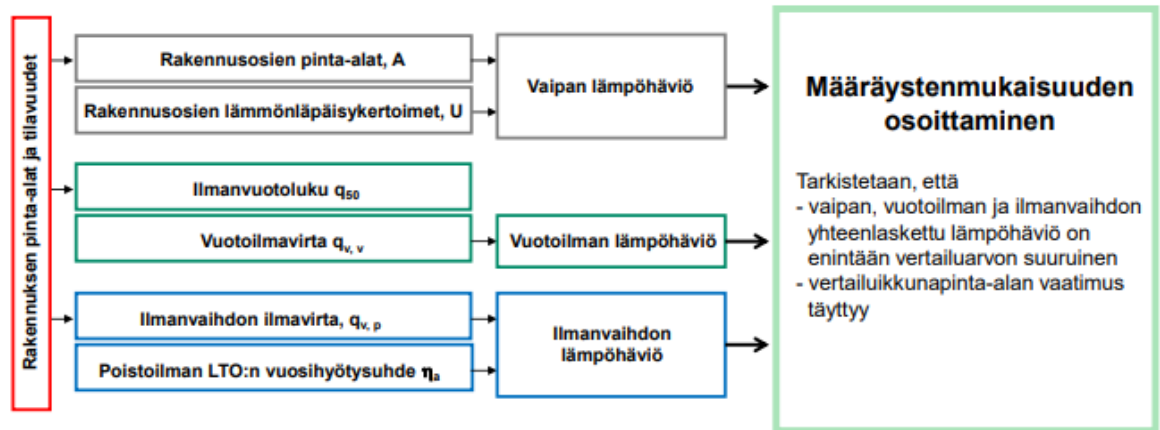
Käyttötarkoituluokka	E-luvun raja-arvo kWh _E /(m ² a)
Luokka 1) Pienet asuinrakennukset:	
a) Erillinen pientalo ja ketjutalon osana oleva rakennus, joiden lämmitetty nettoala (A _{netto}) on 50–150 m ²	200–0,6 A _{netto}
b) Erillinen pientalo ja ketjutalon osana oleva rakennus, joiden lämmitetty nettoala (A _{netto}) on enemmän kuin 150 m ² kuitenkin enintään 600 m ²	116–0,04 A _{netto}
c) Erillinen pientalo ja ketjutalon osana oleva rakennus, joiden lämmitetty nettoala (A _{netto}) on enemmän kuin 600 m ²	92

d) Rivitalo ja asuinkerrostalo, jossa on asuinkerroksia enintään kahdessa kerroksessa	105
Luokka 2) Asuinkerrostalo, jossa on asuinkerroksia vähintään kolmessa kerroksessa	90
Luokka 3) Toimistorakennus, terveyskeskus	100
Luokka 4) Liikerakennus, tavaratalo, kauppakeskus, myymälärakennus lukuun ottamatta päivittäistavarakau- pan alle 2000 m ² yksikköä, myymälähalli, teatteri, oop- pera-, konsertti- ja kongressitalo, elokuvateatteri, kir- jasto, arkisto, museo, taidegalleria, näyttelyhalli	135
Luokka 5) Majoitusliikerakennus, hotelli, asuntola, palve- lutalo, vanhainkoti, hoitolaitos	160
Luokka 6) Opetusrakennus ja päiväkoti	100
Luokka 7) Liikuntahalli lukuun ottamatta uimahallia ja jäähallia	100
Luokka 8) Sairaala	320
Luokka 9) Muu rakennus, varastorakennus, liikenteen rakennus, uimahalli, jäähalli, päivittäistavarakau- pan alle 2000 m ² yksikkö, siirtokelpoinen rakennus	ei raja-arvoa

3.2 Tasauslaskenta

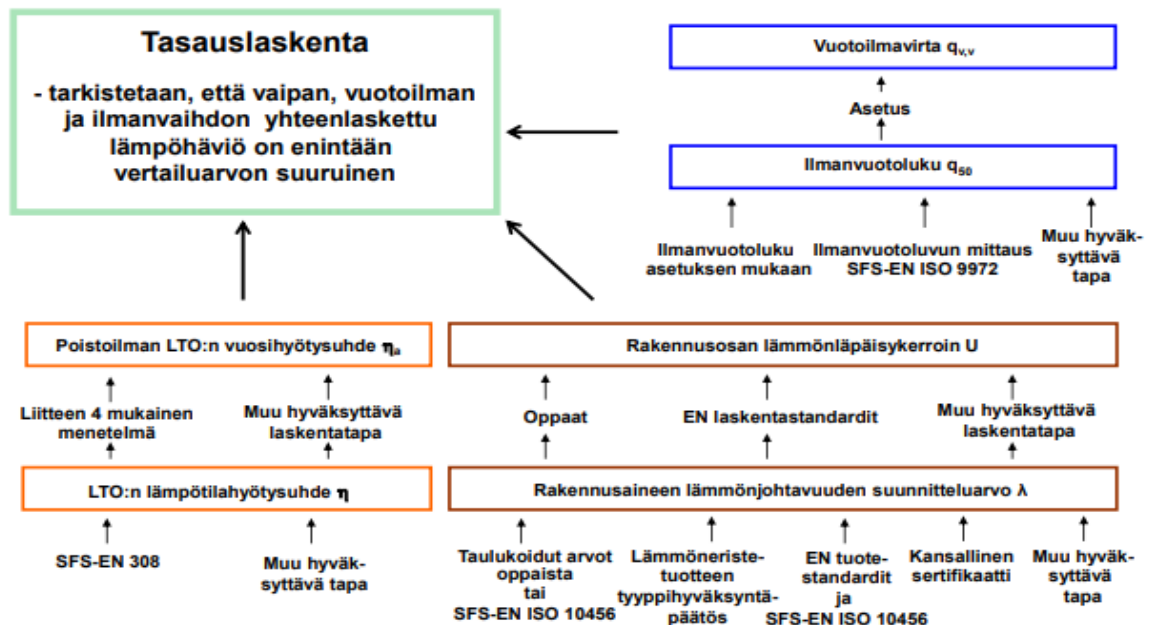
Tasauslaskenta on menetelmä, jossa hyödynnetään rakennuksen teoreettisia lämpöhäviöitä osoittamaan rakennukselle asetettujen vaatimuksien täyttyminen energiatehokkuuden osalta. Menetelmässä verrataan rakennusosien vertailuarvoihin perustuvia ominaislämpöhäviöitä suunniteltujen ratkaisuiden ominaislämpöhäviöihin. Tämä menetelmä ei ole riippuvainen lämmitysenergian muodosta vaan perustuu ainoastaan rakennusosien lämpöhäviöihin. Ominaislämpöhäviö muodostuu rakennusosan lämmönläpäisykertoimen ja pinta-alan tulona, jolloin yksiköksi muodostuu W/K. Ominaislämpöhäviö voidaan laskea rakennuksen vai-

pan lisäksi myös vuotoilmalle ja ilmanvaihdolle. Rakennuksen kokonaislämpöhäviö muodostuu näiden osatekijöiden summana (Kuvio 5). (Saari & Nyman 2017, 11.)



Kuvio 5. Kokonaislämpöhäviön muodostuminen (Saari & Nyman 2017, 11)

Tasauslaskennan lähtötietoina toimivat rakennuksen rakennusosien lämmönläpäisykertoimet eli U-arvot, ilmanvuotoluku, ilmanvaihdon poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde ja rakennuksen suunnitelmat, joista ilmenevät rakennuksen rakennusosat mittoineen ja määrineen (Saari & Nyman 2017, 11-12).



Kuvio 6. Tasauslaskennan lämpöhäviön lähtötietojen määrittämistapoja (Saari & Nyman 2017, 12)

Eri rakennusosille on määritelty vertailuarvot, joita käytetään vertailussa tasauslaskennassa. Vertailuarvot ovat U-arvon raja-arvoja, joihin suunnitellun rakennusosan arvoa verrataan. Näistä muodostuu vertailulämpöhäviö rakennuksen vaipan osille (ulkoseinä, alapohja, yläpohja, ikkunat ja ovet), vuotoilmalle ja ilmanvaihdon poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteelle. Vertailu- ja suunnitteluratkaisuissa käytetään lähtökohtaisesti vaipan osalta lähtötietoina samoja mittoja ja pinta-aloja, joten rakennusosan U-arvo ratkaisee. Vuotoilman lämpöhäviössä muuttujana toimivat ilmanvuotoluvun q_{50} lisäksi mitoitusilmavirrat ja ilmanvaihdossa poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde η_a . Näitä edellä mainittuja rakennusosia käytetäänkin rakennuksen tasauslaskennassa tasamaan kokonaislämpöhäviötä, jos jokin rakennusosan suunnitteluratkaisu on heikompi kuin vertailuratkaisun arvo, parannetaan toisen rakennusosan energiatehokkuutta. Tämänkaltainen tilanne tulee vastaan mm. hirsitalossa, jossa ulkoseinän U-arvo on huomattavasti heikompi kuin vertailuratkaisun. (Saari & Nyman 2017, 2-13.)

Perustiedot				Lämpöhäviöiden tasaus		
RAKENNUSOSAT	Pinta-alat, m ² [A]		U-arvot, W/(m ² K) [U]		Ominaislämpöhäviö, W/K [H _{joht} = A · U]	
	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
Lämpimät tilat						
Ulkoseinä			0,17		-	-
Massiivipuuseinä ¹⁾			0,40		-	-
Yläpohja			0,09		-	-
Alapohja (ulkoilmaan rajoittuva)			0,09		-	-
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva)			0,17		-	-
Alapohja (maanvastainen)			0,16		-	-
Muu maanvastainen rakennusosa			0,16		-	-
Ikkunat			1,00		-	-
Ulko-ovet ja tuuletusluukut ²⁾			1,00		-	-
Kattoikkunat			1,00		-	-
Kattovalokuvut			1,00		-	-
Lämpimät tilat yhteensä	-	-			-	-
Puolilämpimät tilat tai määräaikaiset rakennukset						
Ulkoseinä			0,26		-	-
Massiivipuuseinä ¹⁾			0,60		-	-
Yläpohja			0,14		-	-
Alapohja (ulkoilmaan rajoittuva)			0,14		-	-
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva)			0,26		-	-
Alapohja (maanvastainen)			0,24		-	-
Muu maanvastainen rakennusosa			0,24		-	-
Ikkunat			1,40		-	-
Ulko-ovet ja tuuletusluukut ²⁾			1,40		-	-
Kattoikkunat			1,40		-	-
Kattovalokuvut			1,40		-	-
Puolilämpimät tilat yhteensä	-	-			-	-

Kuvio 7. Vertailuarvot lämpimän, puolilämpimän ja määräaikaisen rakennuksen rakennusosille (Lämpöhäviön tasauslaskin 2018)

VAIPAN ILMAVUODOT	Ilmanvuotoluku, m ³ /(h m ²) [q ₅₀]		Vuotoilmavirta, m ³ /s [q _{v,v} = q ₅₀ / 35 · A/3600]		Ominaislämpöhäviö, W/K [H _{vuotoilma} = 1200 · q _{v,v}]	
	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
Vuotoilma						
Lämpimät tilat	2,0				-	-
Puolilämpimät tilat	2,0				-	-
ILMANVAIHTO	Poistoilmavirta, m ³ /s [q _{v,p}]		Ilmanvaihdon LTO:n vuosihyötysuhde, % [η _a]		Ominaislämpöhäviö, W/K [H _{lv} = 1200 · q _{v,p} · (1-η _a)]	
	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
Hallittu ilmanvaihto						
Lämpimät tilat			55		-	-
Lämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta			0		-	-
Puolilämpimät tilat			55		-	-
Puolilämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta			0		-	-

Kuvio 8. Vertailuarvot asuinrakennuksen ilmanvuotoluvulle ja ilmanvaihdon poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteelle (Lämpöhäviön tasauslaskin 2018)

Lämpöhäviövaatimuksien täyttymiseen on myös muita ehtoja kuin kokonaislämpöhäviön suuruus verrattuna vertailulämpöhäviöön. Yhteenlaskettujen rakennusosien pinta-alojen täytyvät olla samat vertailu- ja suunnitteluratkaisuissa. Pinta-alat lasketaan vaipan osalta käyttämällä rakennusosien sisämittoja, ikkunoissa ja ovissa käyttämällä karmien ulkomittoja. Vertailuikkunapinta-alan arvona käytetään aina 15 prosenttia maanpäällisestä kerrostasoalasta, mutta kuitenkin enintään 50 prosenttia rakennuksen julkisivupinta-alasta. Suunnitteluratkaisussa ikkunoiden ja ovien pinta-alat vaikuttavat ulkoseinän pinta-alaan. Vertailuratkaisuiden U-arvot ovat samat kuin mitä on esitelty kuvioissa 7 ja 8. Ilmanvuotoluvun vertailuarvo on 2 m³/(hm²) ja suunnitteluratkaisun perusarvona on käytettävä arvoa 4 m³/(hm²) ellei ei esitetä erillistä selvitystä ilmanvuotoluvun parantamisesta. Lisäksi ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteesta on esitettävä erillinen selvitys. (Saari & Nyman 2017,13-19.)

Rakennusosan ominaislämpöhäviö lasketaan kaavalla 3:

$$H_{rakosa} = U_{rakosa} * A_{pinta-ala} \quad (3)$$

missä

H_{rakosa}	on	rakennusosan ominaislämpöhäviö, W/K
U_{rakosa}	on	rakennusosan lämmönläpäisykerroin, W/(m ² K)
$A_{pinta-ala}$	on	rakennusosan pinta-ala, m ² . (1010/2017 3:24.1 mom.)

Vuotoilman lämpöhäviö:

$$H_{vuotoilma} = \rho_i * c_{\rho i} * q_{v,vuotoilma} \quad (4)$$

missä

$H_{vuotoilma}$	on	vuotoilman lämpöhäviö, W/K
ρ_i	on	ilman tiheys, 1,2 kg/m ³
$c_{\rho i}$	on	ilman ominaislämpökapasiteetti, 1000 J/(kgK)
$q_{v,vuotoilma}$	on	vuotoilmavirta, m ³ /s. (1010/2017 3:25.1 mom.)

Ilmanvaihdon lämpöhäviö:

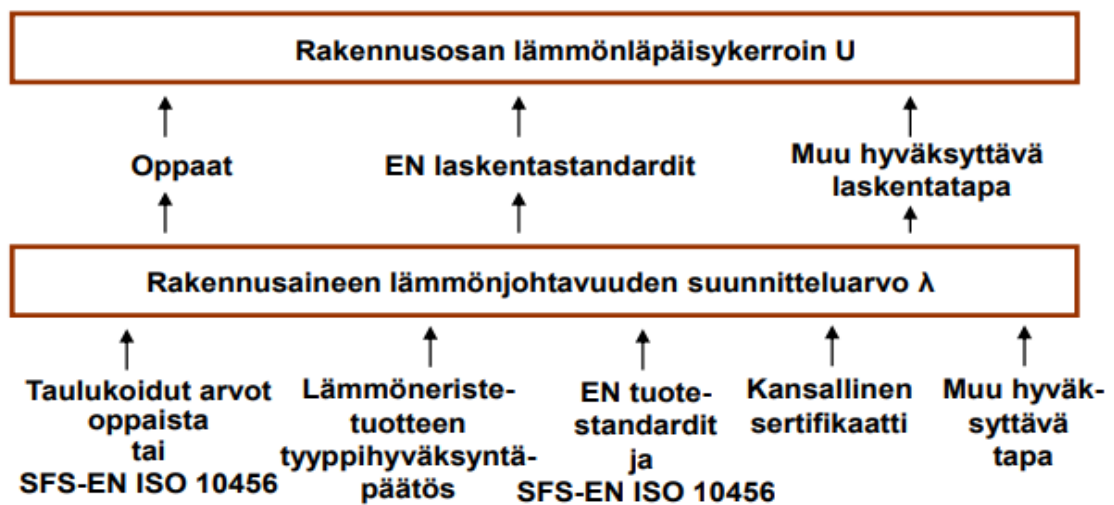
$$H_{iv} = \rho_i * c_{\rho i} * q_{v,poisto} * t_d * t_v * (1 - \eta_a) \quad (5)$$

missä

H_{iv}	on	ilmanvaihdon ominaislämpöhäviö, W/K
ρ_i	on	ilman tiheys, 1,2 kg/m ³
$c_{\rho i}$	on	ilman ominaislämpökapasiteetti, 1000 J/(kgK)
$q_{v,poisto}$	on	poistoilmavirta, m ³ /s
t_d	on	vuorokautinen käyntiaikasuhde, h/24h
t_v	on	viikottainen käyntiaikasuhde, h/24h
η_a	on	ilmanvaihdon poistoilman lämmöntalteenoton vuosi hyötysuhde. (1010/2017 3:26.1 mom.)

3.3 Lämmönläpäisykerroin

Jokaiselle rakennusosalle määritetään lämmönläpäisykerroin, jota kutsutaan U-arvoksi. U-arvo ilmoittaa rakennusosan jatkuvuustilassa läpäisevän lämpövirran tiheyden lämpötilaeron ollessa yksikön suuruinen rakennusosan molemmilla puolilla. Lämmönläpäisykerroimen yksikkönä käytetään W/m²K. (Saari & Nyman 2017, 9.)



Kuvio 9. Lämmönläpäisykerroimen muodostuminen (Saari & Nyman 2017, 37)

Lämmönläpäisykerroin määritetään rakennusosan kokonaislämmönvastuksen käänteislukuna. Kokonaislämmönvastus muodostuu rakennusosan osien lämmönvastuksien summana, johon lisätään rakennusosan sisä- ja ulkopinnoista muodostuvat pintavastukset. Kokonaislämmönvastusta merkitään termillä R_T ja yksikkönä käytetään m²K/W. (SFS-EN ISO 6946:2017, 15-16.)

Rakennusosan lämmönvastus lasketaan kaavan 6 mukaan:

$$R = \frac{d}{\lambda} \quad (6)$$

missä

R	on	rakennusosan lämmönvastus, m ² K/W
d	on	rakennusosan paksuus, m
λ	on	rakennusosan lämmönjohtavuus, W/(mk).

Kokonaislämmönvastus on rakennusosan ainekerrosten lämmönvastuksien ja pintavastuksien summa:

$$R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se} \quad (7)$$

missä

R_T	on	kokonaislämmönvastus, m ² K/W
R_{si}	on	sisäpuolen pintavastus, m ² K/W
$R_1, R_2 \dots R_n$	on	rakennusosan eri ainekerrosten lämmönvastukset, m ² K/W
R_{se}	on	ulkopuolen pintavastus, m ² K/W.

Rakennusosan lämmönläpäisykerroin (U-arvo) on kokonaislämmönvastuksen käänteisluku:

$$U = \frac{1}{R_T} \quad (8)$$

missä

U	on	lämmönläpäisykerroin, W/m ² K
R_T	on	rakennusosan kokonaislämmönvastus, m ² K/W.

(SFS-EN ISO 6946:2017, 15-16.)

Maanvastaisen rakenteen lämmönläpäisykertoimen laskenta eroaa muun rakenteen laskennasta. Maanvastaisen alapohjan U-arvon laskenta voidaan toteuttaa yksinkertaistetusti. Yksinkertaistetussa menetelmässä alapohjan lämmönläpäisykerroin kerrotaan arvolla 0,9, joka ottaa huomioon maan lämmönvastuksen. Kuitenkaan tämä menetelmä ei ota huomioon rakennuksen muodon vaikutusta. Tarkempi U-arvon laskentamenetelmä maanvastaiselle alapohjalle on esitetty standardissa SFS-EN ISO 13370:2017. (Saari & Nyman 2017, 21.)

Tasauslaskennassa lämpöhäviöissä voidaan käyttää lämmönläpäisykertoimelle korjattua lämmönläpäisykerrointa U_c . Korjaustermi ottaa tarvittaessa huomioon kylmäsiltojen, ilmarakojen, kiinnikkeiden sekä käännettyjen kattojen korjaustekijät. (Saari & Nyman 2017, 9.)

Tässä opinnäytetyössä käytetään hyväksi Puuinfo Oy:n mitoitusohjelmia lämmönläpäisykertoimien laskennalle. Puurakenteen U-arvo laskuria käytetään

seinä- ja yläpohjarakenteille ja alapohjan U-arvo laskuria maanvastaiselle alapohjarakenteelle. Puurakenteen mitoitusohjelma perustuu standardin SFS-EN ISO 6946 ja alapohjan mitoitusohjelma perustuu standardin SFS-EN ISO 13370 laskentamenetelmiin (Puuinfo 2020).

3.4 Vaipan osien lämmitysenergian tarve

Jokaiselle vaipan osalle lasketaan niiden johtumislämpöhäviö, joka kertoo teoreettisen lämpöenergian määrän johtumisen kyseisen rakennusosan lävitse. Lämpöenergian johtumisen aiheuttaa vallitsevan lämpötilaero rakennusosan eri puolella. Yksiköksi muodostuu kWh. (Ympäristöministeriö 2017, 17-18)

Ulkoilmaan rajoittuvien rakennusosien johtumislämpöhäviöt lasketaan kaavalla 9 rakennusosittain:

$$Q_{rakosa} = \sum U_i * A_i * (T_s - T_u) * \Delta t / 1000 \quad (9)$$

missä

Q_{rakosa}	on	johtumislämpöhäviö rakennusosan läpi, kWh
U_i	on	rakennusosan i lämmönläpäisykerroin, W/m ² K
A_i	on	rakennusosan i pinta-ala, m ²
T_s	on	sisäilman lämpötila, °C
T_u	on	ulkoilman lämpötila, °C
Δt	on	ajanjakson pituus, h
1000	on	kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kWh.

(Ympäristöministeriö 2017, 18.)

Maanvastaiselle alapohjalle lasketaan johtumislämpöhäviö kaavalla 9, kun ensin määritetään alapohjan alapuolisen maan vuotuinen keskilämpötila kaavalla 10 ja käytetään saatua arvoa ulkoilman lämpötilana. Alapohjan alapuolisen maan ja ulkoilman vuotuisen keskilämpötilan erona käytetään arvoa +5 °C.

$$T_{maa,vuosi} = T_{u,vuosi} + \Delta T_{maa,vuosi} \quad (10)$$

missä

$T_{maa,vuosi}$ on alapohjan alapuolisen maan vuotuinen keskilämpötila, °C

$T_{u,vuosi}$ on ulkoilman vuotuinen keskilämpötila, °C

$\Delta T_{maa,vuosi}$ on alapohjan alapuolisen maan ja ulkoilman vuotuisen keskilämpötilan ero, °C.

(Ympäristöministeriö 2017, 20.)

3.5 Vuotoilman lämpenemisen lämpöenergian tarve

Vuotoilmavirta muodostuu paine-eroista rakennusosan eri puolilla. Paine-ero syntyy lämpötilaeron ja tuulen vaikutuksista. Rakennusvaipan ilmanpitävyys on yksi vuotoilman suuruuteen vaikuttavista tekijöistä. Lisäksi rakennuksen sijainti ja korkeus vaikuttavat. Ilmanvaihtojärjestelmän synnyttämästä alipaineesta johtuvaa korvausilmaa rakenteiden lävitse ei oteta huomioon vuotoilmavirran määrittämisessä. (Ympäristöministeriö 2017, 22.)

Rakennuksen ilmanpitävyyden tulee olla niin ilmanpitävä, että vuotoilmavirta ei aiheuta merkittäviä haittoja rakennukselle sen käytössä. Rakennusvaipan osien ja liitoksien suunnitteluun ja toteutukseen tulee kiinnittää erityistä huomiota. Hyvä ilmanpitävyys takaa rakennukselle sen hyvän energiatehokkuuden ja kosteusteknisen toiminnan. Tasauslaskennassa vertailuarvona ilmanvuotoluvulle q_{50} käytetään arvoa $2 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$, jota pidetään yleisesti hyvänä arvona. Suunnitteluratkaisussa käytetään q_{50} arvona $4 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$. Jos halutaan käyttää parempaa ilmanpitävyyden arvoa, niin siitä tulee esittää erillinen selvitys esimerkiksi mittaamalla jälkikäteen. (Saari & Nyman 2017, 25.)

Taulukko 2. Tyypillisiä q_{50} ilmanvuotolukuja erilaisille rakennuksille (Ympäristöministeriö 2017, 22)

Tavoite-ilmanpitävyys	Yksityiskohdat	Tyypilliset q_{50} -luvut, $\text{m}^3/(\text{h m}^2)$
Hyvä ilmanpitävyys	Saumojen ja liitosten ilmanpitävyyteen on kiinnitetty erityistä huomiota sekä suunnittelussa että rakennustyön toteutuksessa ja valvonnassa (erillistarkastus)	Pientalot 1,0 – 3,0 Asuinkerrostalo ja toimistorakennus 1,0 – 4,0

Keskimääräinen ilmanpitävyys	Ilmanpitävyys on huomioitu tavanomaisesti sekä suunnittelussa että rakennustyön toteutuksessa ja valvonnassa	Pientalot 3,0 – 5,0 Asuinkerrostalo ja toimistorakennus 4,0 – 8,0
Heikko ilmanpitävyys	Ilmanpitävyyteen ei ole juurikaan kiinnitetty huomiota suunnittelussa eikä rakennustyön toteutuksessa ja valvonnassa	Pientalot 5,0 – 10 Asuinkerrostalo ja toimistorakennus 8,0 – 20,0

Rakenteiden lävitse tulevan vuotoilman lämpenemiseen tarvitsema energia lasketaan kaavalla 11:

$$Q_{vuotoilma} = \rho_i * c_{pi} * q_{v,vuotoilma} * (T_s - T_u) * \Delta t / 1000 \quad (11)$$

missä

$Q_{vuotoilma}$	on	vuotoilman lämpenemisen lämpöenergian tarve, kWh
ρ_i	on	ilman tiheys, 1,2 kg/m ³
c_{pi}	on	ilman ominaislämpökapasiteetti, 1000 J/(kg K)
$q_{v,vuotoilma}$	on	vuotoilmavirta, m ³ /s
T_s	on	sisäilman lämpötila, °C
T_u	on	ulkoilman lämpötila, °C
Δt	on	ajanjakson pituus, h
1000	on	kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kWh

josta vuotoilmavirta lasketaan kaavalla 12:

$$q_{v,vuotoilma} = \frac{q_{50}}{3600 * \chi} * A_{vaippa} \quad (12)$$

missä

$q_{v,vuotoilma}$	on	vuotoilmavirta, m ³ /s
q_{50}	on	rakennusvaipan ilmanvuotoluku, m ³ /(h m ²)
A_{vaippa}	on	rakennusvaipan pinta-ala, m ²
3600	on	kerroin, ilmavirran yksiköstä m ³ /h yksikköön m ³ /s
χ	on	Kerroin yksikerroksiselle rakennukselle, 35

(Ympäristöministeriö 2017, 21.)

3.6 Ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarve

Lämmitysenergian nettotarve on energia, joka tuodaan lämmitysjärjestelmällä tiloihin, tuloilmaan ja käyttöveteen ja siitä on vähennetty ulkopuolisista tekijöistä kuten mm. henkilöistä ja auringon säteilystä aiheutuvaa lämpöenergiaa (Ympäristöministeriö 2017, 4). Ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarve voidaan laskea alla olevalla menetelmällä, kun järjestelmässä käytetään vakioilmavirtaa ja prosessi sisältää vain ilman lämmittämisen. Jos prosessi sisältää jäähdytystä, kostutusta tai järjestelmä on ilmamääräsäätöinen, niin laskelmamenetelmänä täytyy käyttää eri laskutapaa. Tämä seuraava menetelmä laskee ilmanvaihtokoneen lämmöntalteenoton jälkeisen tuloilman lämmittämisen nettoenergiatarpeen asetettuun sisäänpuhalluslämpötilaan. Ratkaisevana muuttujana laskelmissa on poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde, sisäänpuhalluslämpötila ja mitoitusilmavirrat. (Ympäristöministeriö 2017, 22-24.)

$$Q_{iv} = t_d * t_v * \rho_i * c_{pi} * q_{v,tulo} * ((T_{sp} - \Delta T_{puhallin}) - T_{lto}) * \Delta t / 1000 \quad (13)$$

missä

Q_{iv}	on	ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarve, kWh
t_d	on	vuorokautinen käyntiaikasuhde, h/24h
t_v	on	viikottainen käyntiaikasuhde, vrk/7 vrk
ρ_i	on	ilman tiheys, 1,2 kg/m ³
c_{pi}	on	ilman ominaislämpökapasiteetti, 1000 J/(kgK)
$q_{v,tulo}$	on	tuloilmavirta, m ³ s
T_{sp}	on	sisäänpuhalluslämpötila, °C
$\Delta T_{puhallin}$	on	lämpötilan nousu puhaltimessa, °C
T_{lto}	on	LTO:n, jälkeinen lämpötila, °C
Δt	on	ajanjakson pituus, h
1000	on	kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kWh

josta

$$T_{lto} = T_u + \frac{\emptyset_{lto}}{t_d * t_v * \rho_i * c_{pi} * q_{v,tulo}} \quad (14)$$

missä

T_u	on	ulkoilman lämpötila, °C
\dot{Q}_{lto}	on	lämmöntalteenotolla talteenotettu kuukauden keskimääräinen teho, W

josta

$$\dot{Q}_{lto} = \eta_a * t_d * t_v * \rho_i * c_{pi} * q_{v,poisto} * (T_s - T_u) \quad (15)$$

missä

η_a	on	LTO:n poistoilman vuosihyötysuhde, -
----------	----	--------------------------------------

(Ympäristöministeriö 2017, 23-24.)

Ilmanvaihtokoneelle määritetään myös kyseessä olevalle laitteelle ominainen ominaissähkönkulutus:

$$W_{ilmanvaihto} = \Sigma SFP * q_v * \Delta t + W_{iv,muut} \quad (16)$$

missä

$W_{ilmanvaihto}$	on	ilmanvaihtojärjestelmän sähköenergian kulutus, kWh
SFP	on	ominaissähköteho, kW/m ³ /s
q_v	on	puhaltimen tai ilmanvaihtokoneen ilmavirta, m ³ /s
Δt	on	puhaltimen tai ilmanvaihtokoneen käyttöaika laskenta jaksolla, h
$W_{iv,muut}$	on	muu ilmanvaihtojärjestelmän sähkönkulutus, kWh.

(Ympäristöministeriö 2017, 56.)

Tässä opinnäytetyössä käytetään hyväksi ilmanvaihdon poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen η_a sekä ilmanvaihtokoneen lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen $\eta_{a,ivkone}$ määrittämisessä ympäristöministeriön LTO-laskin 2018 -laskentasovellusta.

4 MENETELMÄT

4.1 Esimerkkitapaus

Elinkaarikustannuksien laskentaa ja rakennuksen rakennusosien lämmitysenergian tarpeen määrittystä varten loin tähän opinnäytetyöhön yksinkertaisen hirsirakennuksen mallin, joka mahdollistaa esimerkkitapauksena lähtötietojen määrittämisen riittävällä tarkkuudella. Tämä rakennus toimii ympärivuotisena asuinrakennuksena ja se on varustettu koneellisen ilmanvaihdon poistoilman lämmöntalteenotolla. Rakennuksen lämmitysenergian tuottotapaan ei oteta muuten kantaa kuin että lämmitysenergian hintana käytetään sähkön hintaa.

Rakennus on muodoltaan suorakaide, jonka ulkoseinän ulkomitat ovat 8m x 15m. Vertailun mahdollistamiseksi pinta-aloina käytetään samoja aloja vertailu- ja suunnitteluratkaisussa, vaikka todellisuudessa paksumpi ulkoseinä vaikuttaa kerrostasoalan ja lämmitetyn nettopinta-alan määrittämiseen. Laskennassa hirsiseinän sisäkorkeutena käytetään 2,7m.

Rakennuksen rakennusosien pinta-alojen määityksessä käytetään rakennuksen kokonaissisämittoja. Ala- ja yläpohjan pinta-ala lasketaan käyttämällä rakennuksen ulkoseinien sisämittoja vähentämättä rakenteisiin sisältyvien aukkojen, läpivientien ja muiden rakenteiden aloja. Ulkoseinän pinta-ala lasketaan käyttämällä sisämittoja alapohjan lattiapinnasta yläpohjan alapintaan vähentämällä ikkunoiden ja ovien aukkojen alat. Ikkunoiden ja ulko-ovien pinta-alat lasketaan karmi-rakenteiden ulkomittojen mukaan. (Ympäristöministeriö 2017, 6.) Kuitenkin tässä työssä käytetään ikkunoille tuotestandardin kokoa 1,23 m x 1,48 m ja ulko-oville 1,23 m x 2,18 m (Saari & Nyman 2017, 22).

Taulukko 3. Yksinkertaistetun hirsirakennuksen rakennusosien pinta-alat

	m ²
Kerrostasoala	120
Lämmitetty netto-pinta-ala	112

Alapohja	112
Yläpohja	112
Julkisivu	124
Ulkoseinä	100
Ikkunat*	18,2
Ovet	5,4

* Ikkunoiden kokonaispinta-ala on 15% rakennuksen kerrostasoalasta (Saari & Nyman 2017, 9).

Rakenneratkaisut ylä- ja alapohjarakenteille ovat määritetty niiden lämmönläpäisykertoimia silmällä pitäen eikä olla otettu huomioon esimerkiksi kosteusteknisiä seikkoja. Rakenteet ovat kuvattu käyttämällä Puuinfo Oy:n mitoitusohjelmia rakenteiden U-arvon määrittämiseen.

Tarkoituksena on määritellä tasauslaskennassa käytettyjen rakennusosien lämmitysenergian tarve niin vertailuratkaisuille kuin suunnitteluratkaisuille. Tarkastelun kohteeksi valikoituivat ne rakennusosat, joilla pystytään tasauslaskennassa kompensoimaan ei niin energiatehokasta rakenneratkaisua kuten suurta ikkunapinta-alaa tai massiivipuuseinää ja sen heikkoa lämmönläpäisykerrointa. Rakennusosiksi valikoituivat:

- massiivipuuseinä
- yläpohja
- alapohja
- ikkunat
- ulko-ovet
- ilmanvuotoluku
- ilmanvaihdon poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde.

4.2 Energiatehokkuus

Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta 1010/2017 määrittelee rakennusosien lämmönläpäisykertoimille vertailuarvot, joita verrataan suunnitteluratkaisuiden lämmönläpäisykertoimiin ja sitä kautta rakennusosan ominaislämpöhäviöön.

Taulukko 4. Lämpimän tilan vertailu- ja suunnitteluratkaisuiden lämmönläpäisykertoimet

	Vertailuarvo (W/(m ² K))	Suunnitteluarvo (W/(m ² K))
Massiivipuuseinä*	0,40	0,60 ja 0,41
Yläpohja	0,09	0,07
Maanvastainen alapohja	0,16	0,10
Ikkunat	1,0	0,6
Ulko-ovet	1,0	0,7

* Massiivipuuseinä, jonka keskimääräinen paksuus on oltava vähintään 180mm (1010/2017 3:24.2 mom.)

Taulukko 5. Ilmanvuotoluvun ja ilmanvaihdon poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen vertailu- ja suunnitteluratkaisuiden raja-arvot (1010/2017 3:25-26 §)

	Vertailuarvo	Suunnitteluarvo
Ilmanvuotoluku (m ³ /(h m ²))	2	1 ja 4
LTO:n vuosihyötysuhde (%)	55	74

Laskelmissa sisä- ja ulkolämpötilojen arvoina käytetään ympäristöministeriön määrittämiä arvoja. Sisälämpötilana käytetään käyttötarkoitukseluokan 1) raken-

nukselle määritettyä huonelämpötilaa $+21\text{ °C}$ (1010/2017 2:10.2 mom.) ja ulkolämpötiloina säävyöhykkeen I Helsinki-Vantaa ulkoilman vuotuista keskilämpötilaa $+5,57\text{ °C}$ ja kuukausittaisia keskiarvoja (1010/2017 Taulukko L1.2).

Ilmanvaihdon poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen laskennassa käytetään ulkolämpötilana säävyöhykkeen I-II Helsinki TRY 2012 testivuoden lämpötilan pysyvyystietoja (Saari & Nyman 2017, 59). Poistoilmavirtana käytetään määritettyä ulkoilmavirtaa käyttötarkoitukseluokan 1) rakennukselle, joka on $0,4\text{ dm}^3/(\text{sm}^2)$ (1010/2017 2:10.2 mom.) Ajanjakson pituutena käytetään vuotuista tuntimäärää 8760h.

4.3 Elinkaarikustannukset

Tässä opinnäytetyössä määritetään rakennusosien elinkaareksi 50 vuotta, jota käytetään käyttöjakson pituutena laskennassa. Laskennan lähtötietoina käytetään diskonttauskoron ja energian hinnan nousun vuositasolla alla annettuja parametrejä (Taulukko 6). Sähköenergian hinta saadaan vuoden 2019 keskiarvona Tilastokeskuksen ylläpitämästä tietokannasta pientalolle, jonka kulutus on 20 000 kWh/vuosi (Kuvio 10). Elinkaarikustannuksiin huomioidaan rakennusosien investointikustannukset, elinkaaren energiakustannukset sekä elinkaaren aikaiset huolto- ja korjauskustannukset. Työstä rajataan pois elinkaaren lopusta purkuvaihe ja materiaalien jatkokäsittely.

Taulukko 6. Elinkaarikustannuslaskennan nykyarvomenetelmään liittyvät lähtöarvot

Käyttöjakson pituus, n	50 vuotta
Diskonttauskorko, i	3%
Energian vuotuinen nousu, p	4,6%
Energian vuoden keskiarvohinta, q	13,92 snt/kWh $\sim 0,14\text{ €/kWh}$

004 -- Sähkön hinta kuluttajatyypeittäin, snt/kWh (Hinnat sisältävät sähköenergian, siirtomaksun ja verot.)

	Hinta snt/kWh											
	Tammikuu	Helmikuu	Maaliskuu	Huhtikuu	Toukokuu	Kesäkuu	Heinäkuu	Elokuu	Syyskuu	Lokakuu	Marraskuu	Joulukuu
L2 (Pientalo, osittain varaava sähkölämmitys, pääsulake 3x25 A, sähkön käyttö 20 000 kWh/vuosi)												
2019	13,78	13,85	14,00	13,98	13,98	13,98	13,80	13,78	13,86	13,98	14,02	13,94

Kuvio 10. Sähkön hinta kuukausittain vuonna 2019, snt/kWh (Tilastokeskus 2020)

Rakennusosan teknisen käyttöiän ja kunnossapitojakson määrittämiseen käytetään Rakennustiedon RT 18-10922 Kiinteistön tekniset käyttöiät ja kunnossapitojaksot -ohjetta. Tässä työssä rakennusosan tekninen käyttöikä ja huoltotarve määräytyy tämän ohjekortin mukaan.

Taulukko 7. Rakennusosien tekninen ikä, huoltoväli ja valitut toimenpiteet

	Tekninen ikä	Huoltoväli	Valitut toimenpiteet
Massiivipuuseinä	Rakennuksen ikä	Pintakäsittely 5...20 vuotta	Pintakäsittely 10v
Alapohja	Rakennuksen ikä	Rakenne ei vaadi huoltoa	-
Yläpohja	Rakennuksen ikä	Rakenne ei vaadi huoltoa	-
Ikkunat	>50v	Huoltomaalaus 8...15 vuotta Tiivistäminen 3...12 vuotta	Huoltomaalaus 15v Tiivistäminen 12v
Ovet	>50v	Huoltomaalaus ja käyntisovitus 5...15 vuotta	Huoltomaalaus 15v Tiivistäminen 12v
Ilmanvuotoluku	Rakennuksen ikä	Ei erikseen huoltoa	-

Ilmanvaihdon lämmöntalteenot- tolaite	10...15v	Suodattimien vaihto/puhdistus 6...12kk	Laitteen uusi- minen 15v Suodattimien vaihto 12kk
---	----------	--	--

Investointi- ja huoltokustannukset määräytyvät pääosin Rakennustiedon kustannuslaskenta -laskentatyökalulla. Kustannukset lasketaan sekä vertailuratkaisulle että suunnitteluratkaisulle investoinnin ja huoltojen osalta. Kustannuksia, joita ei pystytä määrittämään RT-kustannuslaskenta työkalulla, määritetään yksitellen muista lähteistä. Ilmanvuotoluvulle on haastavaa määritellä kustannuksia, joten arvioin kokemuspohjaisesti kustannukset siihen vaiheeseen liittyvien materiaalien menekkien ja työn osalta. Kompensoidun ratkaisun työn osuudelle asetin kaksinkertaisen arvon kuin mitä on vertailuratkaisussa ja huonomman suunnitteluratkaisun työn osuudelle vain nimellisen arvon. Ilmanvaihtolaitteiden valinnat ratkaisin testilaskelmilla ilmanvaihdon poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen määrittämisellä. Sopivat laitteet löytyivät taloon.com verkkokaupan valikoimista niin vertailuratkaisulle kuin kompensoidulle ratkaisulle. Huoltotoimenpiteet selvisivät valmistajan sivuilta.

Taulukko 8. Investointi- ja huoltokustannukset

	Vertailuratkaisu, €	Suunnitteluratkaisu, €	Huolto, €
Massiivipuu	14960,4	22440,6	Pintakäsittely 865 €/kerta
Alapohja	5117,0	5896,3	-
Yläpohja	8341,0	9660,0	-
Ikkunat	2499,0	4439,0	Huoltomaalaus 1366,75 €/kerta Tiivisteiden uusiminen 394,1 €/kerta
Ovet	1377,2	2501,2	Huoltomaalaus 287,95 €/kerta

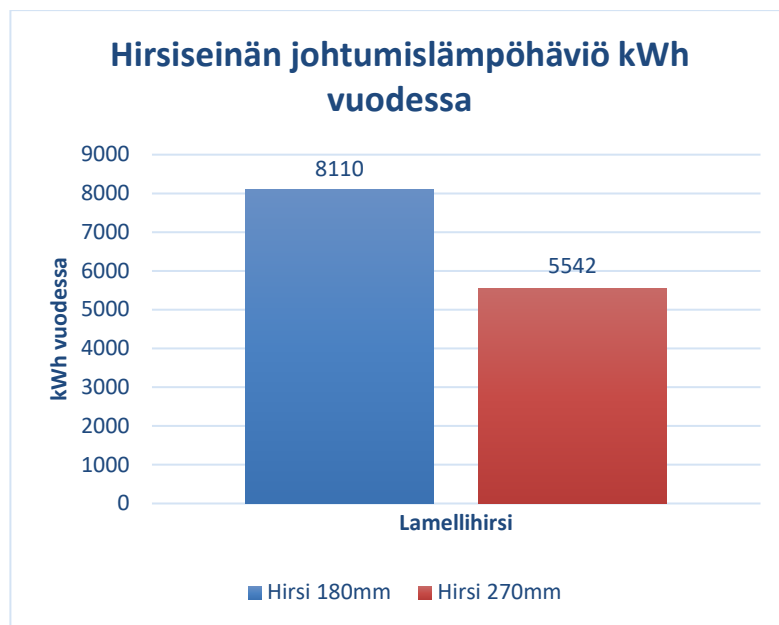
			Tiivisteiden uusiminen 19,83€/kerta
Ilmanvuoto	753,7	1343,1 ja 443,1	-
Ilmanvaihdon lämmöntalteenotolaite	2703,2	3142,0	Suodattimen vaihto Vertailu 29,0 €/kerta Kompensoitu 24,9 €/kerta

5 LÄMMITYSENERGIAN TARVE JA ELINKAARIKUSTANNUKSET

5.1 Massiivipuuseinä

Massiivipuuseinän materiaaliksi valitaan lamellihirsi. Tässä osiossa valitaan kaksi eri paksuista lamellihirsityyppiä suunnitteluratkaisuihin. Toinen edustaa suunnitteluratkaisuissa mahdollisimman heikkoa ja juuri määräysten läpäisevää ratkaisua ja toinen mahdollisimman energiatehokasta tyyppiä ilman lisäeristystä. Hirsiksi valitaan 180mm ja 270mm paksuudeltaan olevat lamellihirret. Paksuudeltaan 180mm hirren U-arvo on $0,60 \text{ W/m}^2\text{K}$ ja 270mm hirren $0,41 \text{ W/m}^2\text{K}$. Määräyksissä ilmoitetulle vertailuarvolle ei tehdä laskelmia, koska suunnitteluratkaisun parempi ratkaisu kuvaa riittävän hyvin vertailuarvon täyttävää rakennetta.

Lasketaan ulkoseinän molemmille ratkaisuille ominaislämpöhäviö käyttämällä esimerkkitapauksessa annettua todellista pinta-alaa. Ominaislämpöhäviön avulla saadaan ratkaistua ulkoseinän johtumislämpöhäviö rakenteen lävitse, kilowattituntia vuodessa.



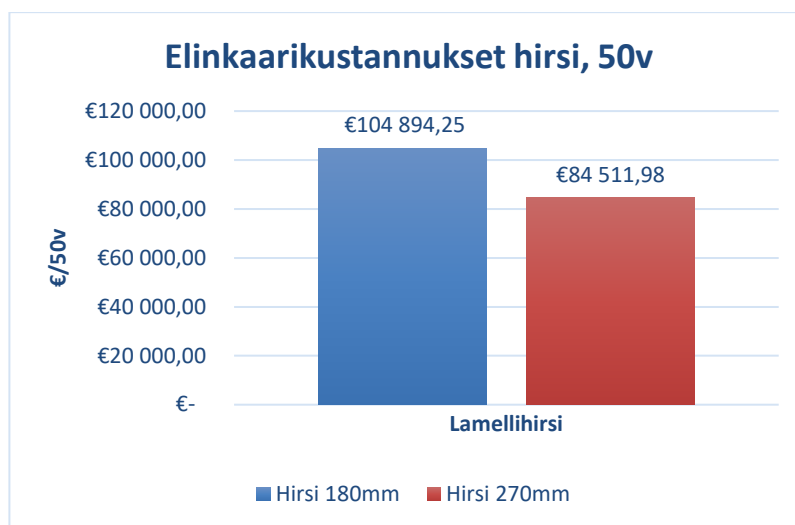
Kuvio 11. Hirsiseinän johtumislämpöhäviö vuodessa

Elinkaarikustannuksiin vaikuttavat lamellihirren investointikustannus, elinkaaren aikaiset huolto- ja korjaustoimenpiteet sekä johtumislämpöhäviöstä aiheutuva elinkaaren aikainen energiankulutus.

Taulukko 9. Hirsiseinän elinkaaren aikaiset kustannukset eriteltyinä

		Hirsi 180mm	Hirsi 270mm
A1-A5	Investointikustannukset	14 960,40 €	22 440,60 €
B4, B5	Elinkaarelle sijoittuvat kustannukset	1 941,42 €	1 941,42 €
B6	Energiakustannukset	87 992,42 €	60 129,96 €

Elinkaarikustannukset lasketaan nykyarvomenetelmällä 50 vuoden ajanjaksolle. Kuviosta 12 ilmenee molempien ratkaisuiden kokonaiskustannukset.



Kuvio 12. Hirsiseinän elinkaarikustannukset 50v

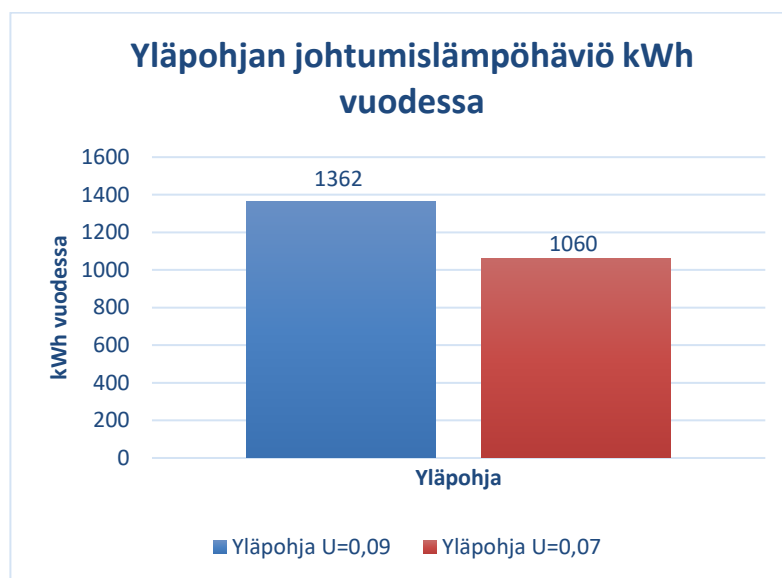
5.2 Yläpohja

Yläpohjarakenteiksi suunnitellaan vertailuratkaisuksi vertailuarvon täyttävä U-arvoltaan 0,09 W/m²K ja suunnitteluratkaisuksi U-arvoltaan parempi 0,07 W/m²K rakenne. Erona rakenteilla on suunnitteluratkaisuun kasvatettu eristemäärä.

Taulukko 10. Yläpohjan vertailu- ja suunnitteluratkaisun rakenteet

	U=0,09	U=0,07
Puhallusvilla	350mm	500mm
Palavilla	100mm	100mm
Ilmansulkupaperi	0,2mm	0,2mm
Kuusipuupaneeli	14mm	14mm

Yläpohjarakenteille lasketaan niiden johtumislämpöhäviöt vuodessa käyttämällä esimerkkitapauksessa annettua pinta-alaa.



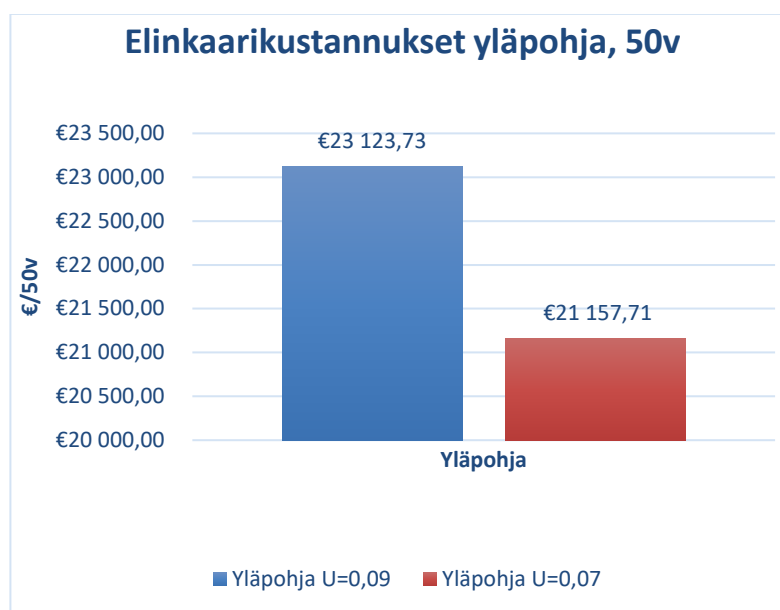
Kuvio 13. Yläpohjarakenteiden johtumislämpöhäviöt vuodessa

Elinkaarikustannuksiin vaikuttavat yläpohjarakenteen investointikustannus sekä johtumislämpöhäviöstä aiheutuva elinkaaren aikainen energiankulutus. Elinkaaren aikaisia huolto- ja korjaustoimenpiteitä ei ole.

Taulukko 11. Yläpohjan elinkaaren aikaiset kustannukset eriteltyinä

		Yläpohja U=0,09	Yläpohja U=0,07
A1-A5	Investointikustannukset	8 341,00 €	9 660,00 €
B4, B5	Elinkaarelle sijoittuvat kustannukset	- €	- €
B6	Energiakustannukset	14 782,73 €	11 497,71 €

Elinkaarikustannukset lasketaan nykyarvomenetelmällä 50 vuoden ajanjaksolle. Kuviosta 14 ilmenee molempien ratkaisuiden kokonaiskustannukset.



Kuvio 14. Yläpohjan elinkaarikustannukset 50v

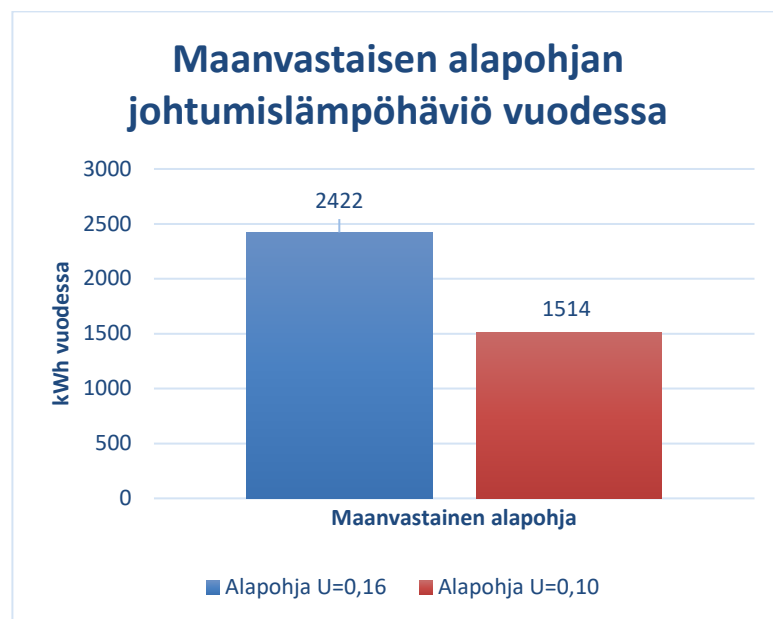
5.3 Maanvastainen alapohja

Maanvastaiseksi alapohjarakenteiksi suunnitellaan vertailuratkaisuksi vertailuarvon täyttävä U-arvoltaan 0,16 W/m²K ja suunnitteluratkaisuksi U-arvoltaan parempi 0,10 W/m²K rakenne. Erona rakenteilla on suunnitteluratkaisuun kasvatettu eristemäärä.

Taulukko 12. Alapohjan vertailu- ja suunnitteluratkaisun rakenteet

	U=0,16	U=0,10
Lattiabetoni	100mm	100mm
EPS-lämmöneriste	150mm	300mm
EPS-pystyeriste	100mm	100mm
HkSr	>400mm	>400mm

Alapohjarakenteille lasketaan niiden johtumislämpöhäviöt vuodessa käyttämällä esimerkkitapauksessa annettua pinta-alaa.



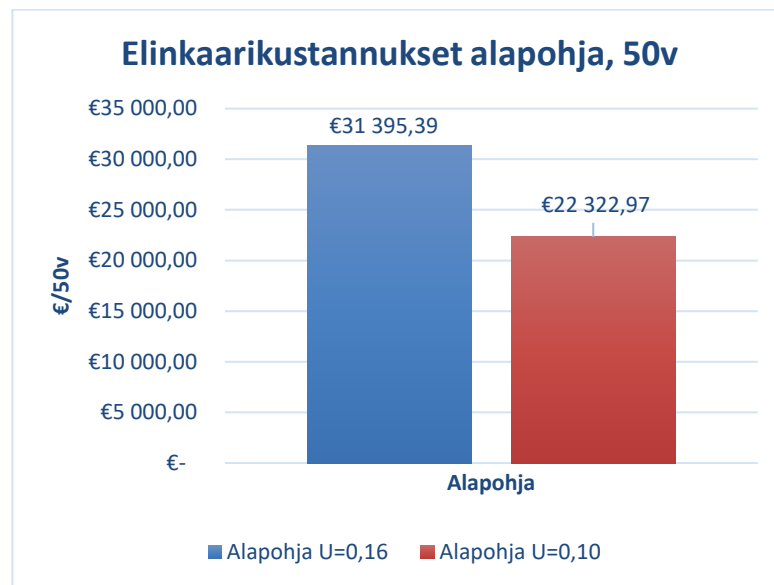
Kuvio 15. Alapohjarakenteiden johtumislämpöhäviöt vuodessa.

Elinkaarikustannuksiin vaikuttavat alapohjarakenteen investointikustannus sekä johtumislämpöhäviöstä aiheutuva elinkaaren aikainen energiankulutus. Elinkaaren aikaisia huolto- ja korjaustoimenpiteitä ei ole.

Taulukko 13. Alapohjan elinkaaren aikaiset kustannukset eriteltynä

		Alapohja U=0,16	Alapohja U=0,10
A1-A5	Investointikustannukset	5 117,01 €	5 896,27 €
B4, B5	Elinkaarelle sijoittuvat kustannukset	- €	- €
B6	Energiakustannukset	26 278,38 €	16 426,70 €

Elinkaarikustannukset lasketaan nykyarvomenetelmällä 50 vuoden ajanjaksolle. Kuviosta 16 ilmenee molempien ratkaisuiden kokonaiskustannukset.

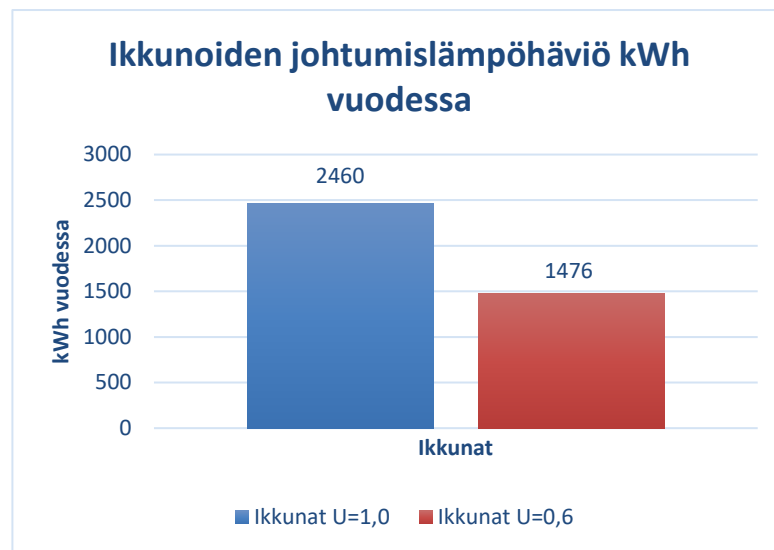


Kuvio 16. Alapohjan elinkaarikustannukset 50v

5.4 Ikkunat

Ikkunoiksi valitaan vertailuratkaisuksi vertailuarvon täyttävä U-arvoltaan 1,0 W/m²K ja suunnitteluratkaisuksi U-arvoltaan parempi 0,6 W/m²K. Ikkunoiden kokona käytetään tuotestandardin mukaista 1,23m x 1,48m ikkunaa ja kokonaispinta-alana 15 prosenttia julkisivun pinta-alasta.

Ikkunoille lasketaan niiden johtumislämpöhäviöt vuodessa.



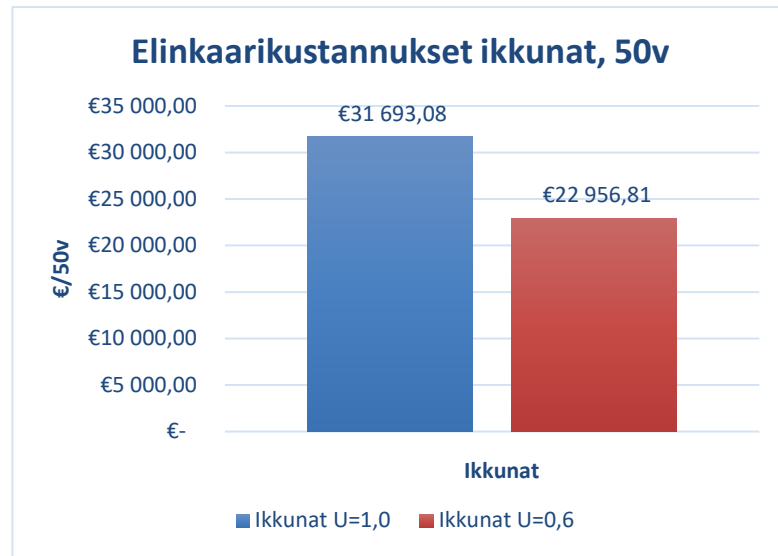
Kuvio 17. Ikkunoiden johtumislämpöhäviöt vuodessa

Elinkaarikustannuksiin vaikuttavat ikkunoiden investointikustannus, elinkaaren aikaiset huolto- ja korjaustoimenpiteet sekä johtumislämpöhäviöstä aiheutuva elinkaaren aikainen energiankulutus.

Taulukko 14. Ikkunoiden elinkaaren aikaiset kustannukset eriteltyinä

		Ikkunat U=1,0	Ikkunat U=0,6
A1-A5	Investointikustannukset	2 499,00 €	4 439,00 €
B4, B5	Elinkaarelle sijoittuvat kustannukset	2 503,40 €	2 503,40 €
B6	Energiakustannukset	26 690,67 €	16 014,40 €

Elinkaarikustannukset lasketaan nykyarvomenetelmällä 50 vuoden ajanjaksolle. Kuviosta 18 ilmenee molempien ratkaisuiden kokonaiskustannukset.

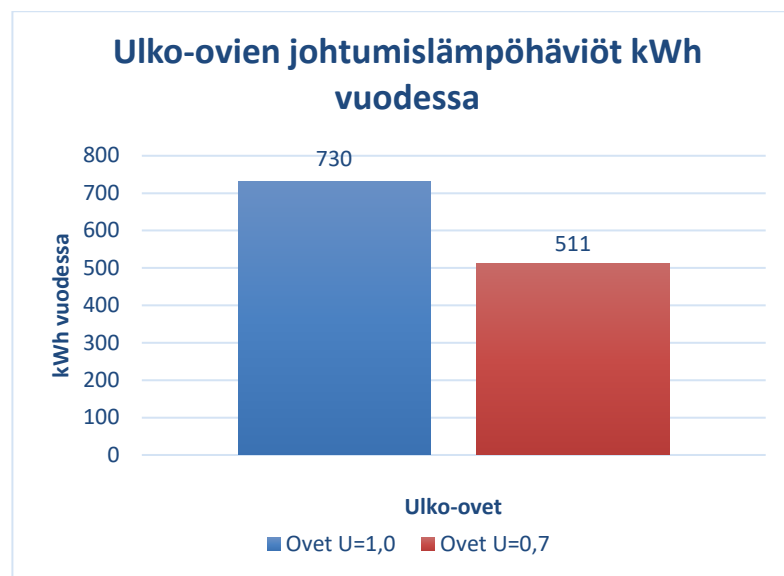


Kuvio 18. Ikkunoiden elinkaarikustannukset 50v

5.5 Ulko-ovet

Ulko-oviksi valitaan vertailuratkaisuksi vertailuarvon täyttävä U-arvoltaan 1,0 W/m²K ja suunnitteluratkaisuksi U-arvoltaan parempi 0,7 W/m²K. Ulko-ovien kokona käytetään tuotestandardin mukaista 1,23m x 2,18m ovea. Pinta-alana käytetään kahden ulko-oven muodostamaa alaa.

Ulko-oville lasketaan niiden johtumislämpöhäviö vuodessa.



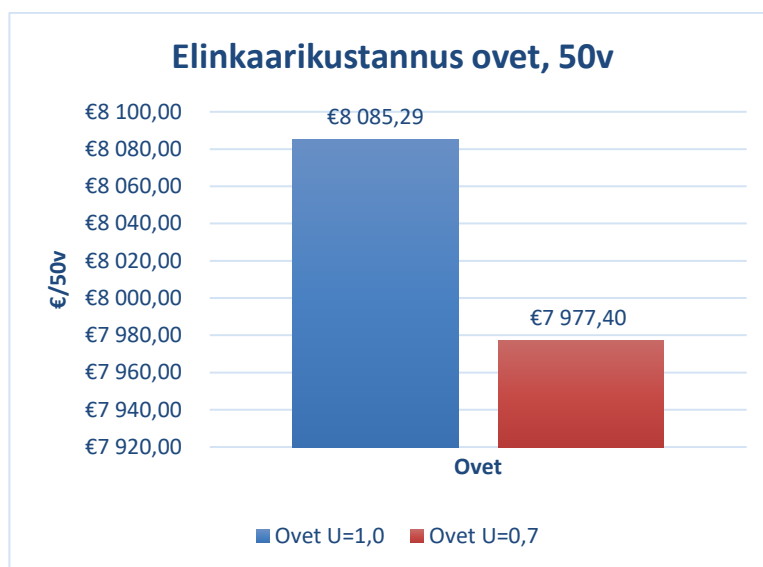
Kuvio 19. Ulko-ovien johtumislämpöhäviöt vuodessa

Elinkaarikustannuksiin vaikuttavat ulko-ovien investointikustannus, elinkaaren aikaiset huolto- ja korjaustoimenpiteet sekä johtumislämpöhäviöstä aiheutuva elinkaaren aikainen energiankulutus.

Taulukko 15. Ulko-ovien elinkaaren aikaiset kustannukset eriteltyinä

		Ovet U=1,0	Ovet U=0,7
A1-A5	Investointikustannukset	1 377,24 €	2 501,24 €
B4, B5	Elinkaarelle sijoittuvat kustannukset	548,58 €	548,58 €
B6	Energiakustannukset	6 159,48 €	4 927,58 €

Elinkaarikustannukset lasketaan nykyarvomenetelmällä 50 vuoden ajanjaksolle. Kuviosta 20 ilmenee molempien ratkaisuiden kokonaiskustannukset.

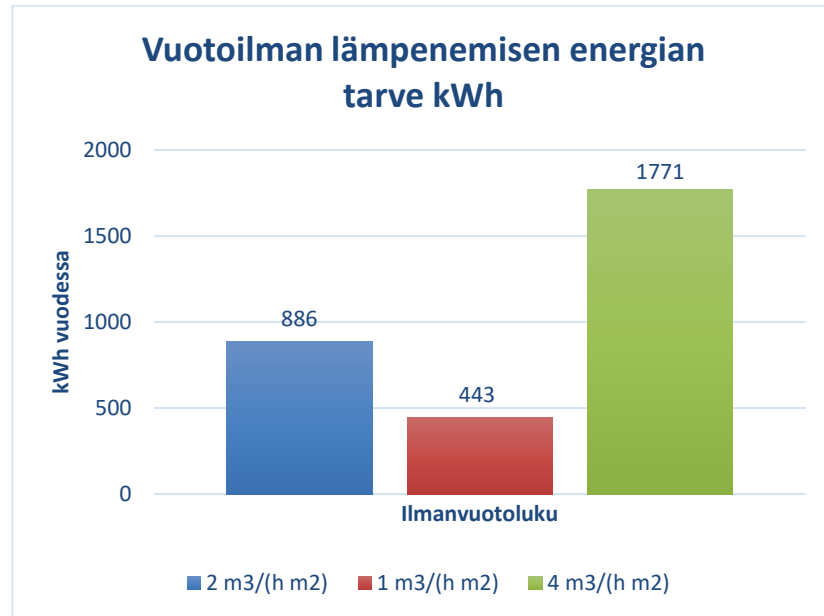


Kuvio 20. Ulko-ovien elinkaarikustannukset 50v

5.6 Ilmanvuotoluku

Ilmanvuotolukua tarkastellaan vertailuarvon $2 \text{ m}^3/(\text{hm}^2)$, suunnitteluarvojen $1 \text{ m}^3/(\text{hm}^2)$ ja $4 \text{ m}^3/(\text{hm}^2)$ kautta. Vertailu- ja suunnitteluratkaisuiden erona on käytettävät tiivistemateriaalit ja tiivistystyöhön käytettävä työaika. Suunnitteluratkaisun parempaan arvoon pääsemiseksi on tiivistystyöhön osoitettava erityistä huomiota.

Kaikkiin ratkaisuihin lasketaan vuotoilman lämpenemiseen tarvittava lämmitysenergia vuoden mittaiselle ajanjaksolle.



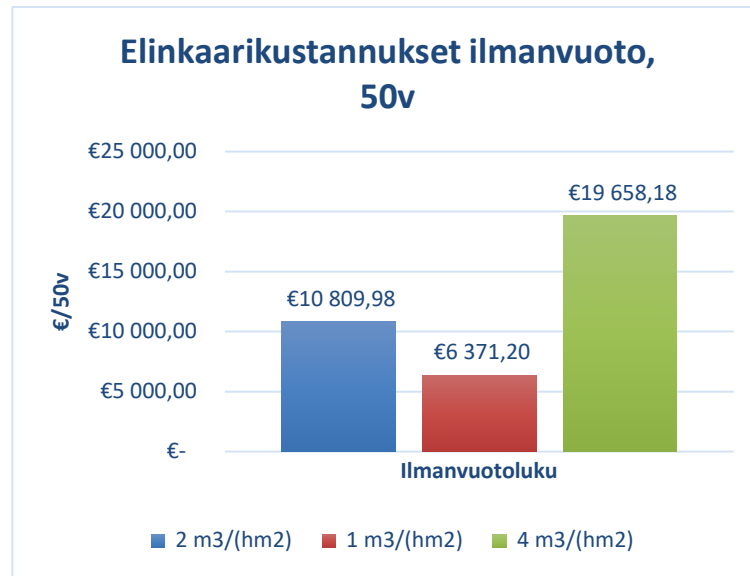
Kuvio 21. Vuotoilman lämpenemiseen tarvittava lämmitysenergia vuodessa

Elinkaarikustannuksiin vaikuttavat investointikustannukset sekä vuotoilman lämmittämisestä aiheutuva elinkaaren aikainen energiankulutus.

Taulukko 16. Ilmanvuodon elinkaaren aikaiset kustannukset eriteltynä

		2 m³/(hm²)	1 m³/(hm²)	4 m³/(hm²)
A1-A5	Investointikustannukset	753,69 €	1 343,06 €	443,06 €
B4, B5	Elinkaarelle sijoittuvat kustannukset	- €	- €	- €
B6	Energiakustannukset	10 056,29 €	5 028,14 €	19 215,12 €

Elinkaarikustannukset lasketaan nykyarvomenetelmällä 50 vuoden ajanjaksolle. Kuviosta 22 ilmenee kaikkien ratkaisuiden kokonaiskustannukset.



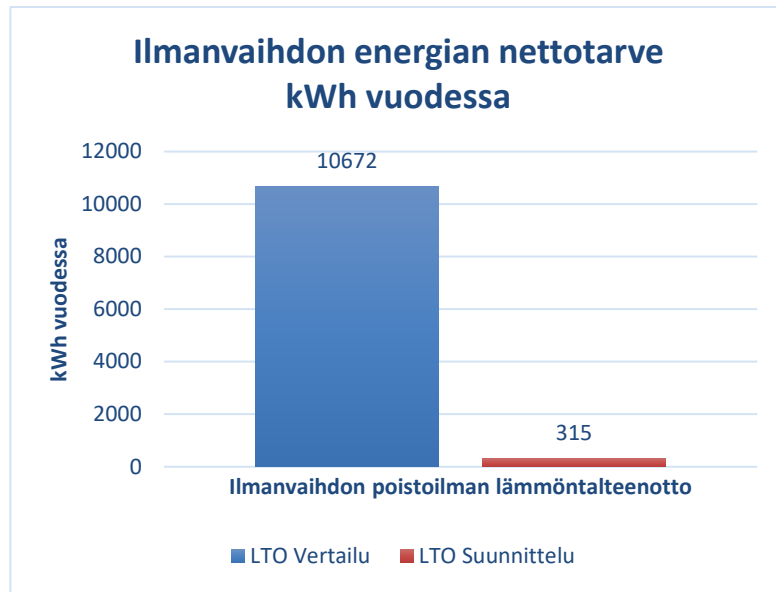
Kuvio 22. Ilmanvuodosta aiheutuvat elinkaarikustannukset 50v

5.7 Ilmanvaihdon poistoilman lämmöntalteenotto

Ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarve lasketaan sekä vertailuarvolle että suunnitteluarvolle. Vertailuarvona käytetään ilmanvaihdon poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteena 55 prosenttia ja suunnitteluarvona 74 prosenttia. Vertailuratkaisun ilmanvaihtokoneeksi valikoitui testilaskelmien avulla Vallox 90 K MC R. Ilmanvaihtokone on liedon päälle asennettava liesikuvulla varustettu kone. VTT-tuotesertifikaatin perusteella ilmanvaihtokoneen poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteeksi on määritetty 62 prosenttia. Kyseisen koneen ominaisuuksilla saatiin ilmanvaihdon poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteeksi 55,1 prosenttia, joka vastaa hyvin ympäristöministeriön antamaa vertailuarvoa.

Suunnitteluratkaisun ilmanvaihtokoneeksi valikoitui Nilan Comfort 252 Top Polar. Koneen ominaisuuksilla saatiin ilmanvaihtokoneen poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteeksi 83,2 prosenttia ja tätä kautta ilmanvaihdon poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteeksi 74 prosenttia, joka vastaa suunnitteluratkaisua.

Lisäksi energiantarpeeseen lasketaan ja lisätään myös kyseisen ilmanvaihtokoneen sähkönkulutus vuoden mittaisella ajanjaksolla.



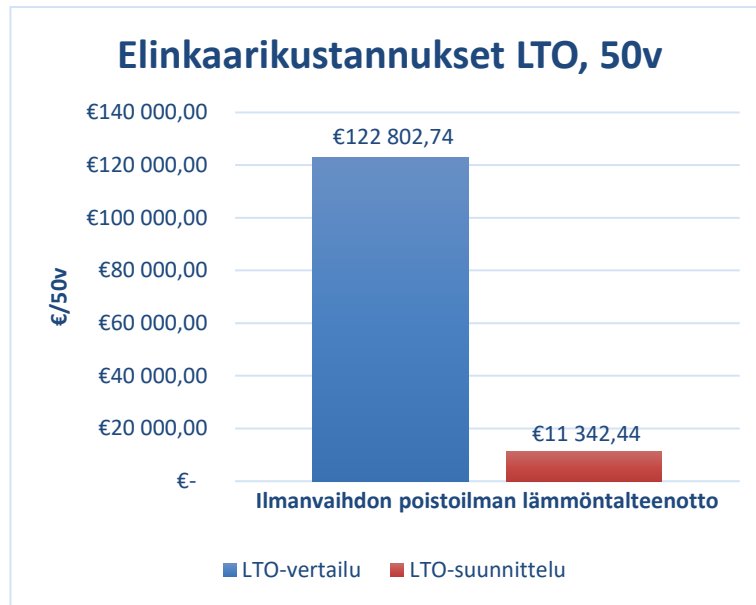
Kuvio 23. Ilmanvaihdon poistoilman lämmöntalteenoton energian nettotarve vuodessa

Elinkaarikustannuksiin vaikuttavat investointikustannukset, elinkaaren aikaiset huolto- ja korjaustoimenpiteet sekä ilmanvaihdon energian nettotarve.

Taulukko 17. Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton elinkaaren aikaiset kustannukset eriteltynä

		LTO-vertailu	LTO-suunnittelu
A1-A5	Investointikustannukset	2 703,20 €	3 142,00 €
B4, B5	Elinkaarelle sijoittuvat kustannukset	4 309,76 €	4 782,73 €
B6	Energiakustannukset	115 789,78€	4 177,20 €

Elinkaarikustannukset lasketaan nykyarvomenetelmällä 50 vuoden ajanjaksolle. Kuviosta 24 ilmenee molempien ratkaisuiden kokonaiskustannukset.

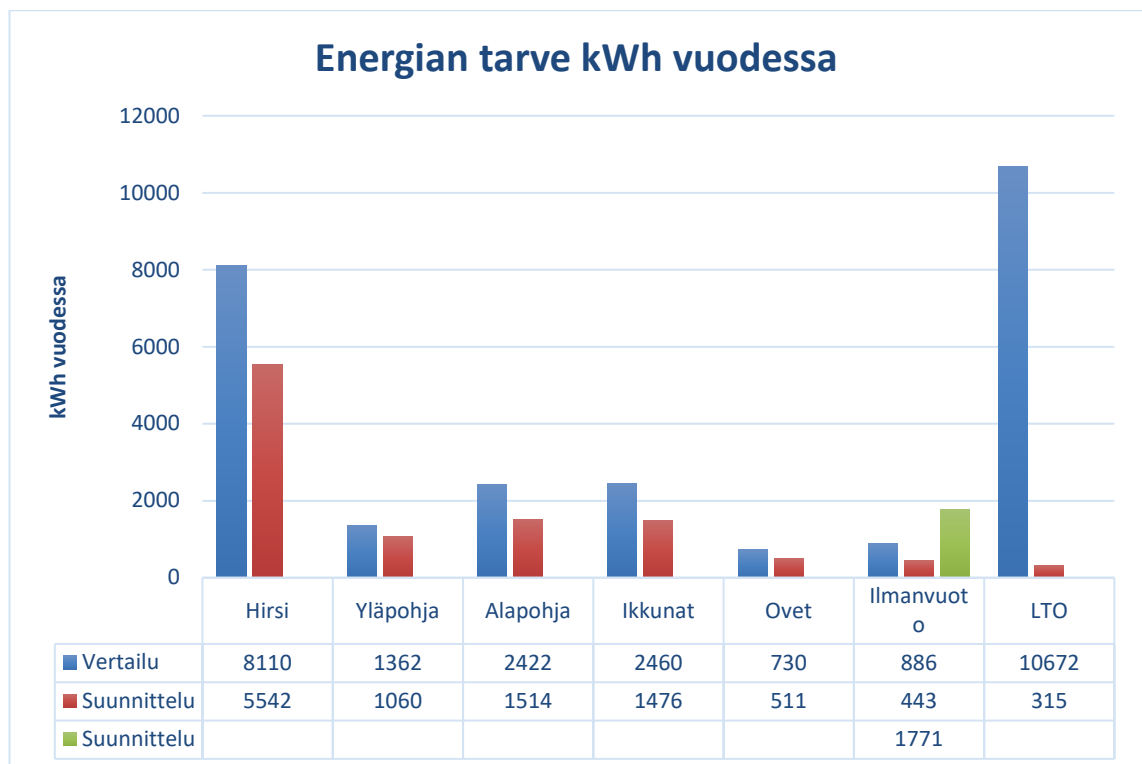


Kuvio 24. Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton elinkaarikustannukset 50v

6 YHTEENVETO

Alla olevaan kuvioon 25 on koottu pylväskaavion muodossa energian tarve vuodessa rakennusosittain eriteltynä. Vierekkäin on sinisellä vertailuratkaisun ja punaisella/vihreällä suunnitteluratkaisun energiamäärä. Kuviosta ilmenee myös energiantarve yhden kilowattitunnin tarkkuudella.

Kuviosta nähdään eri rakennusosien suhteet energiankulutuksen osalta tämän esimerkkitapauksen lähtöarvoilla. Suurimmat energian tarpeet ovat hirsiseinällä ja vertailuratkaisun lämmöntalteenotolla. Alapohjan ja ikkunoiden lämmitysenergian tarve on suuruusluokaltaan sama. Yläpohjan, ulko-ovien ja ilmanvuodon osalta lämmitysenergian suuruus on verrattain pieni kokonaiskuvassa suhteutettuna muihin rakennusosiin. Lämmöntalteenoton energian tarpeessa on merkittävä ero. Vertailuratkaisun suuri energiantarve selittyy osaksi tämän opinnäytetyön tarkastelun näkökulmasta, jossa käytettiin laskennassa molempiin lämmöntalteenoton ratkaisuihin samoja lähtöarvoja eikä niitä optimoitu vastaamaan todellista tilannetta.



Kuvio 25. Rakennusosien energian tarve vuodessa

Kun ratkaisuiden erot lasketaan prosentteina kilowattituntien määrän perusteella, huomataan, että rakennusosan energiatehokkuuden parantamisella on merkittävä vaikutus energiankulutukseen. Prosenttitarkastelussa suurimmat vaikutukset ovat lämmöntalteenoton ja ilmanvuodon ratkaisuilla. Kun tarkastellaan suoraan kilowattituntien erotusta, niin hirsiseinä ja lämmöntalteenotto erottuvat niin kuin yllä olevasta kuviostakin voidaan päätellä.

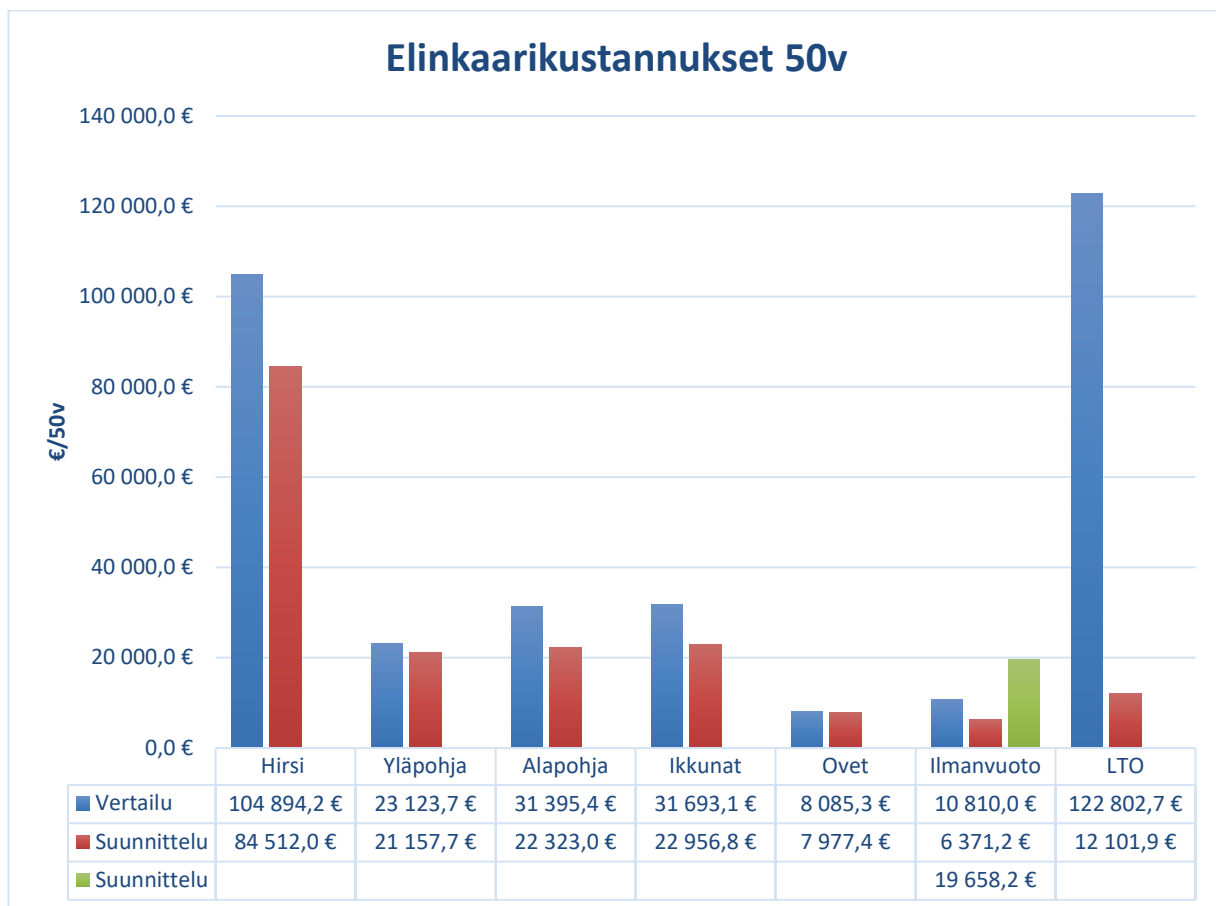
Taulukko 18. Vertailu- ja suunnitteluratkaisuiden energian tarpeen erotus kilowattitunteina ja prosentteina

	Vertailuratkaisu kWh	Suunnitteluratkaisu kWh	ero, kWh	ero, %
Hirsi	8110	5542	-2568	-31,7
Yläpohja	1362	1060	-302	-22,2
Alapohja	2422	1514	-908	-37,5
Ikkunat	2460	1476	-984	-40,0
Ovet	730	511	219	-30,0
Ilmanvuoto	886	443 / 1771	-443 / +885	-50,0 / +200,0
LTO	10672	315	-10357	-3388

Elinkaarikustannukset koottiin alla olevaan kuvioon 26 samalla tavalla pylväskäviöön rakennusosittain eriteltynä. Kuviosta ilmenee molempien ratkaisuiden kustannukset eriteltynä euromääräisesti yhden desimaalin tarkkuudella.

Kustannuksien pylväät muotoilevat hyvin vahvasti samaa linjaa kuin energiankulutuksen kaaviossa. Tämä johtuu energiakustannusten määräävästä asemasta elinkaaren aikaisista kustannuksista. Merkittävin kustannus syntyy hirsiseinästä ja lämmöntalteenotosta. Hirsiseinän ja heikon lämmöntalteenoton investointi- ja energiakustannukset ovat huomattavasti suuremmat kuin muiden rakennusosien. Alapohjan ja ikkunoiden osalta samanlaiset energiankulutukset näkyvät myös elinkaarikustannuksissa, jotka ovat hyvin lähellä toisiaan molemmissa tarkasteltavissa ratkaisuissa. Yläpohjan kustannukset eroavat ulko-ovien ja ilmanvuodon aiheuttamista kustannuksista. Toisaalta jos käytetään ilmanvuotolukuna

peruslukua $4 \text{ m}^3/(\text{hm}^2)$, se eroaa kustannuksissa huomattavasti muista ilmanvuodon arvoista ja on lähellä yläpohjaratkaisuiden elinkaarikustannuksia.



Kuvio 26. Vertailu- ja suunnitteluratkaisuiden elinkaarikustannukset eriteltynä rakennusosittain

Kun elinkaarikustannukset koottiin taulukkoon, josta ilmenee euromääräinen erotus ja myös prosentuaalinen ero ratkaisuiden välillä, huomataan minkä suuruinen vaikutus on energiatehokkaammalla ratkaisulla taloudellisesti. Prosenttitarkastelusta nähdään, että suurimmat erot syntyvät lämmöntalteenoton ja ilmanvuodon ratkaisuiden parantamisella. Jos katsotaan suoraan euromääräistä säästöä elinkaaren aikaisissa kustannuksissa, niin lämmöntalteenotto ja hirsiseinä tuovat suurimmat säästöt.

Taulukko 19. Vertailu- ja suunnitteluratkaisuiden elinkaarikustannuksien erotus kilowattitunteina ja prosentteina

	Vertailuratkaisu €	Suunnitteluratkaisu €	ero, €	ero, %
Hirsi	104 894,2	84 512,0	-20 382,2	-19,4
Yläpohja	23 123,7	21 157,7	-1966	-8,5
Alapohja	31 395,4	22 323,0	-9072,4	-28,9
Ikkunat	31 693,1	22 956,8	-8736,3	-27,6
Ovet	8085,3	7977,4	-107,9	-1,3
Ilmanvuoto	10 810,0	6 371,2 / 19 658,2	-4438,8 +8848,2	-41,1 / +181,9
LTO	122 802,7	12 101,9	-110 700,8	-90,2

7 POHDINTA

Suurimmaksi yksittäiseksi tekijäksi ilmeni elinkaaren aikaiset energiakustannukset. Energiakustannukset ovatkin merkittävin kustannuksien aiheuttaja jokaisen rakennusosan osalta. Pelkästään tämä paljastunut seikka riittää kuvaamaan sen, kuinka huono käytäntö on tehdä investointipäätöksiä pelkästään investointikustannuksia arvioimalla. Tosin tässä työssä ei otettu kantaa hirsitalon lämmitysjärjestelmään, joten energian hintana käytettiin vuoden 2019 sähkön keskihintaa, joka on 0,14 €/kWh. Valitsemalla lämmitysjärjestelmäksi käyttökustannuksiltaan edullisempi ratkaisu, saadaan elinkaaren aikaisia energiakustannuksia pienemmiksi. Tämä ei tosin poista sitä seikkaa, että energian hinnan oletetaan yleisesti nousevan vuosi vuodelta, joten energiatehokkaampien rakenneratkaisuiden merkitys kasvaa entisestään.

Ilmanvaihdon poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen tarkastelussa ilmeni kaikista suurin ero kustannuksissa kahden eri ratkaisun välillä. Erittäin suuren eron selittää ilmanvaihtokoneiden ominaisuudet. Lämmöntalteenoton energian tarpeen laskennassa laskettiin se energiamäärä, joka tarvitaan lämmittämään lämmöntalteenoton jälkeinen tuloilma asetettuun sisäänpuhalluslämpötilaan. Tässä työssä asetettiin sisäänpuhalluslämpötila molempiin ratkaisuihin samaksi, $T_{sp} = 18\text{ °C}$. Suunnitteluratkaisun ilmanvaihtokone pystyi lämmöntalteenotolla lämmittämään tuloilman vähintään 18 °C joka kuukausi, joten lisälämmitysenergiaa ei tarvita. Vertailuratkaisun ilmanvaihtokone ei pystynyt lämmittämään lämmöntalteenotolla tuloilmaa 18 °C yhtenäkkään kuukautena, joten lisälämmitysenergiaa tarvitaan, joka näkyy tuloksissa. Asettamalla sisäänpuhalluslämpötila matalammaksi, saataisiin lämmitysenergian tarve pienemmäksi mutta toisaalta sama energiamäärä tarvittaisiin jostain muusta lämmitysjärjestelmästä. Tämän seikan tarkastelu ei sisältynyt tähän opinnäytetyöhön. Lisäksi kustannuksia ajatellen huomiotta jätettiin koko ilmanvaihtojärjestelmä kanavistointeen, jolla voi olettaa olevan vaikutusta kustannuksien eroon.

Rakennusvaipan rakennusosat noudattavat kaikki samaa kaavaa. Parantamalla rakennusosan lämmönläpäisykerrointa rakennusmääräyksien asettamasta ver-

tailuarvosta, saadaan säästöjä elinkaarikustannuksissa pienemmistä energia-kustannuksista johtuen. Suunnitteluratkaisuiden suuremmat investointikustannukset näyttäisivät olevan taloudellisesti kannattavia pitkällä aikavälillä. Suurin säästö syntyy investoimalla paksumpaan hirsityyppiin. Tämän työn esimerkkita-pauksen tiedoilla noin 7500€ suurempi investointikustannus kääntyikin noin 20 400€ säästöön elinkaarikustannuksissa.

Rakennuksen ilmanpitävyyttä tarkasteltiin kolmen eri ilmanvuotoluvun avulla. Il-manvuotoluvun parantamisella on merkittävä vaikutus myös taloudellisesti. Pa-rantamalla rakennuksen ilmanpitävyyttä ilmanvuotoluvun perusarvosta $q_{50}=4 \text{ m}^3/(\text{hm}^2)$ parempaan $q_{50}=1 \text{ m}^3/(\text{hm}^2)$, saadaan säästöä elinkaarikustannuksissa noin 13 000€. Ilmanpitävyyden parantamisella on myös muitakin positiivisia vai-kutuksia. Se parantaa asumisviihtyvyyttä pienentämällä vedon tunnetta sisäti-loissa ja hyvä ilmanpitävyys mahdollistaa myös ilmanvaihtokoneen optimaalisen toiminnan.

Tämän opinnäytetyön näkökulmasta johtuen, saadut tulokset ovat mielestäni suuntaa antavia. Saadut tulokset eivät kerro todellisia euromääräisiä säästöjä. Tuloksista nähdään tosin selvästi, että mihin rakennusosiin on kannattavaa in-vestoida enemmän saadakseen säästöjä pitkällä aikavälillä. Rakennus on kum-minkin aina kaikkien rakennusosien summa ja toimii kokonaisuutena. Jos halu-taan saada tarkempia tuloksia, tulisi laskennat suorittaa ajatellen rakennusta ja yksittäisiä rakennusosia kokonaisuutena. Lisäksi käyttöjakson asettaminen 50 vuodeksi laskentaan on pitkä aika. 50 vuoden ajanjakson aikana tapahtuu var-masti sellaisia seikkoja mitä ei pystytä laskennan hetkellä arvioimaan ja ennakoi-maan riittävällä tarkkuudella.

Tarkastelun ulkopuolelle jäivät myös kokonaan rakennusosien kylmäsiltojen vai-kutus, jonka voidaan ajatella olevan merkittävä. Rakennuksen geometria tuli otet-tua jossain määrin mukaan laskentaan esimerkkita-pauksen luonnin avulla, mutta tarkemman vaikutuksen saisi todellisella kohteella. Lisäksi huomiotta jäi ns. il-maisenergian vaikutus kokonaisuuteen. Lämpökuormaa syntyy henkilöistä, va-laistuksesta, sähkölaitteista, käyttövedestä ja auringon säteilystä.

Kuitenkin luottaisin tämän työn tuloksiin sen verran, että hirsitalon suunnittelussa panostaisin hyvään ilmanvaihdon poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyöty-suhteeseen ja tavoittelemalla rakennukselle hyvää ilmanvuotolukua, joka parantaa samalla asumisviihtyvyyttä. Myös investoimalla paksumpaan hirsityyppiin ulkoseinämateriaaliksi, toisi säästöjä pitkällä aikavälillä ja lisäisi asumisviihtyvyyttä massiivipuun ominaisuudella tasata sisäilman kosteutta ja lämpötilaa.

LÄHTEET

Green Building Council Finland 2013. Rakennusten elinkaarimittarit 2013. Viitattu 30.4.2020. https://media.sitra.fi/2017/02/27174206/Rakennusten_elinkaarimittarit_2013-2.pdf

Green Building Council Finland 2017. Rakennusten elinkaarimittarit -koulutusmateriaali. Lapin ammattikorkeakoulu 16.5.2017.

LTO-laskin 2018, 2017. Ympäristöministeriö.

Lämpöhäviön tasauslaskin 2018, 2017. Ympäristöministeriö.

Nilan Suomi Oy, 2020. Käyttöohjeet ja huolto. Viitattu 1.3.2020. <https://www.nilan.fi/oppaat-ja-ohjeet/esitteet-ja-kayttoohjeet/>

Mikkola, M. 2020. Puurakentaminen on ratkaisu. Viitattu 11.4.2020. <https://www.metsagroup.com/fi/Campaigns/AlykasMetsa/urbancarbon/puurakentaminen-on-ratkaisu/Pages/default.aspx#>

Motiva 2020. Rakentaminen ja rakennukset. Viitattu 15.4.2020. https://www.motiva.fi/julkinen_sektori/kestavat_julkiset_hankinnat/tietopankki/rakentaminen_ja_rakennukset

Puuinfo Oy 2020. Energialaskurit. Puurakenteet & Maanvarainen alapohja. Viitattu 30.4.2020. <https://www.puuinfo.fi/energialaskurit>

Puuinfo Oy 2020. Kestävä rakentaminen luo hyvinvointia. Viitattu 15.4.2020. <https://www.puuinfo.fi/sites/default/files/Kest%C3%A4v%C3%A4%20rakentaminen%20lue%20hyvinvointia%20WEB.pdf>.

Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehotarpeen laskenta, ohjeet, 2018. 2017. Ympäristöministeriö.

Rakennustieto 2020. RT-kustannuslaskenta. Rakennustietosäätiö.

Rakennustuoteteollisuus 2020. Rakennettu ympäristö ja ilmastonmuutos. Viitattu 15.4.2020. <https://www.rakennusteollisuus.fi/Tietoa-alasta/Ilmasto-ymparisto-ja-energia/Materiaalitehokkuus/>

RT 2008. Rakennustietosäätiön ohjetiedosto 18-10922. Kiinteistön tekniset käyttöiät ja kunnossapitojaksot.

RT 2018. Rakennustietosäätiön ohjetiedosto 11-11294. Uuden rakennuksen energiatehokkuus – Asetuksen 788/2017 ja 1010/2017 tuomat muutokset.

Saari, A. 2001. Elinkaarikustannusten ja ympäristökuormitusten ohjaus rakennushankkeissa. Viitattu 11.4.2020. <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK010701.pdf>

SFS-EN ISO 13370:2017. Rakennusten lämpöominaisuudet. Lämpöhäviöt maaperän kautta. Laskentamenetelmät.

SFS-EN ISO 6946:2017. Rakennusosat. Lämmönvastus ja lämmönjohtavuus. Laskentamenetelmät.

Suomen ympäristöopisto Sykli 2014. Rakennustyömaan kestävät käytännöt. Viitattu 11.4.2020. <https://sykli.fi/wp-content/uploads/2018/05/raksa-opas-final.pdf>

Taloon Yhtiöt Oy 2020. Taloon.com verkkokauppa. Viitattu 1.3.2020. <https://www.taloon.com/ilmanvaihtokoneet-lto>

Saari, M & Nyman, M. 2017. Tasaustalokas 2018. Rakennuksen lämpöhäviön määräystenmukaisuuden osoittaminen. Ympäristöministeriö.

Tilastokeskus 2020. Sähkön hinta kuluttajatyypeittäin, snt/kWh 2019.

Vallox Oy, 2020. Käyttöohjeet ja huolto. Viitattu 1.3.2020. https://www.vallox.com/tuotteet/vallox_ilmanvaihtokoneet/vallox_90k_mc.html

VTT 2011. Tuotesertifikaatti Nro VTT-C-7697-11. Viitattu 1.3.2020. https://www.taloon.com/media/attachments/vallox/vallox_90_mc_sertifikaatti.pdf

Ymparisto.fi 2013. Elinkaariarviointi, jalanjäljet ja panos-tuotosmalli. Viitattu 16.4.2020. https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kulutus_ja_tuotanto/Tuotesuunnittelu_ja_tuotteet/Elinkaariarviointi_jalanjaljet_ja_panostuotosmalli

Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta 27.12.2017/1010. Ympäristöministeriö.